



Veiligheidsrapport Kernenergiecentrale Borssele

VR15

versie 1

november 2015

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	1-2
1.1	VEILIGHEIDSRAPPORT	1-2
1.2	HISTORIE	1-3
1.3	BEGRIPPEN, AFKORTINGEN, CODERINGEN, EENHEDEN, SYMBOLEN	1-3
1.3.1	Begrippen	1-4
1.3.2	Afkortingen	1-8
1.3.3	Systeemcoderingen	1-11
1.3.4	Eenheden	1-13
1.3.5	Symbolen	1-14
2.	SAMENVATTING	2-2
2.1	NUCLEAIRE REGELGEVING NEDERLAND	2-2
2.2	SAMENVATTENDE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE EN LAYOUT	2-5
2.3	BEDRIJFSTOESTANDEN	2-12
2.3.1	Inbedrijfname	2-12
2.3.2	Vermogensbedrijf	2-13
2.3.3	Uitbedrijfname	2-13
2.3.4	Afschakelingen	2-13
2.4	DOCUMENTENSTRUCTUUR	2-14
3.	VEILIGHEID EN ORGANISATIE	3-2
3.1	ORGANISATIE VAN VEILIGHEIDSPROCESSEN	3-2
3.1.1	Inleiding	3-2
3.1.2	Organisatiestructuur	3-2
3.1.3	Installatie	3-3
3.1.4	Integraal managementsysteem	3-4
3.1.5	Personeel	3-5
3.1.6	Veiligheidscultuur	3-5
3.2	VEILIGHEIDSCULTUUR	3-6
3.2.1	Beleid en strategie	3-7
3.2.2	Vaststellen managementverwachtingen	3-8
3.2.3	Trainen en opleiden	3-8
3.2.4	Coaching	3-8
3.2.5	Werkplekbezoeken	3-8
3.2.6	Toezicht	3-8
3.2.7	Evaluatie	3-9
3.3	KWALITEITSMANAGEMENT	3-10
3.3.1	Inleiding	3-10
3.3.2	Kwaliteitsmanagement bij het ontwerp en de bouw	3-10
3.3.3	Kwaliteitsmanagementsysteem	3-11
3.3.3.1	Handboek IMS	3-12
3.3.3.2	Bedrijfsprocessen	3-12
3.3.3.3	Deelprocessen (Uitvoeringsprocedures)	3-15
3.3.3.4	Werkdocumenten	3-15
3.3.4	Kwaliteitsmanagement bij grote wijzigingsprojecten	3-16
3.3.5	Audits	3-16
3.3.5.1	Interne audits	3-16
3.3.5.2	Externe audits	3-17
3.3.5.3	Derde partij audits	3-17

4.	VESTIGINGSPLAATS	4-2
4.1	VESTIGINGSPLAATS EN BEREIKBAARHEID	4-2
4.2	GEOLOGIE EN SEISMOLOGIE	4-5
	4.2.1 Geologie	4-5
	4.2.2 Seismologie	4-8
4.3	HYDROLOGIE	4-11
4.4	KLIMAAT EN WEERSOMSTANDIGHEDEN	4-14
4.5	BODEMGEBRUIK EN INDUSTRIE	4-18
4.6	TRANSPORT	4-20
4.7	DEMOGRAFIE	4-21
4.8	RADIOLOGISCHE INVLOEDEN VAN BUITENAF	4-26
4.9	OMGEVINGSASPECTEN M.B.T. HET ALARMPLAN	4-27
5.	ONTWERPPRINCIPES	5-3
5.1	VEILIGHEIDSDOELSTELLINGEN EN ONTWERPPRINCIPES	5-3
	5.1.1 Doelstellingen van de bescherming	5-3
	5.1.2 “Defence-in-depth”-concept	5-4
	5.1.3 Deterministische ontwerpprincipes en –criteria	5-7
	5.1.3.1 Inherent veilige eigenschappen	5-7
	5.1.3.2 Passieve veiligheidsvoorzieningen (barrièreconcept)	5-7
	5.1.3.3 Actieve veiligheidsvoorzieningen	5-9
	5.1.4 Veiligheidstechnische ontwerpprincipes	5-11
	5.1.4.1 Redundantie	5-11
	5.1.4.2 Diversiteit	5-12
	5.1.4.3 Ruimtelijke scheiding en bouwkundige bescherming	5-12
	5.1.4.4 Fail-safe-principe	5-13
	5.1.4.5 Principe van “Lek-voor-Breuk”	5-13
	5.1.4.6 Geautomatiseerde ongevalsbeheersing	5-13
	5.1.4.7 Stralingsbescherming	5-13
	5.1.5 Veiligheidsfuncties	5-13
5.2	OVEREENSTEMMING MET ONTWERPPRINCIPES EN CRITERIA	5-15
5.3	BESTENDIGHEID TEGEN INTERNE BELASTINGEN	5-16
	5.3.1 Specificatie van de bij het ontwerp veronderstelde belastings- toestanden	5-16
	5.3.2 Belastingscategorieën	5-17
	5.3.3 Vermoeiingsbeheersing	5-17
5.4	BEDRIJFSDUUR KCB	5-20
5.5	KLASSERING VAN STRUCTUREN, SYSTEMEN EN COMPONENTEN	5-21
	5.5.1 Veiligheidsklassering van structuren, systemen en componenten	5-21
	5.5.1.1 Inleiding	5-21
	5.5.1.2 Klasseringsproces	5-21
	5.5.1.3 Werktuigbouwkundige componenten en systemen	5-21
	5.5.1.4 Elektrotechnische en instrumentatiecomponenten en - systemen	5-23
	5.5.1.5 C-Veiligheidsklassering	5-24
	5.5.2 Seismische klassering	5-25
	5.5.2.1 Aardbevingsbestendige installatiedelen van klasse I	5-25
	5.5.2.2 Aardbevingsbestendige installatiedelen van klasse II	5-26
5.6	BOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES	5-27
	5.6.1 Gebouwen die bestand zijn tegen invloeden van buitenaf	5-30
	5.6.1.1 Reactorgebouw (01/02)	5-30
	5.6.1.2 Reservesuppletiegebouw (33)	5-38
	5.6.1.3 Reserveregelzaalgebouw (35)	5-40

5.6.2	Andere gebouwen en bouwkundige constructies	5-41
5.6.2.1	Reactorhulpgebouw en ventilatieschacht (03/13).....	5-41
5.6.2.2	Machinegebouw (04)	5-42
5.6.2.3	Schakelgebouw (05)	5-45
5.6.2.4	Dienstgebouw (06).....	5-46
5.6.2.5	Noodstroomdieselgebouwen I en II (10/72).....	5-46
5.6.2.6	Deminwateraanmaakgebouw (09).....	5-49
5.6.2.7	Afvalopslaggebouw (34)	5-49
5.6.2.8	Koelwatervoorzieningen in de gebouwen 20, 21, 22, 23 en 24	5-51
5.6.2.9	Overige gebouwen (07, 08, 14, 15, 16, 32, 48, 49, 65, 77 en 78).....	5-52
5.7	KWALIFICATIE VAN APPARATUUR	5-53
5.8	MENS-MACHINE-RELATIE	5-54
5.8.1	Uitgangspunten voor het ontwerp.....	5-54
5.8.2	Organisatorische voorzieningen	5-55
5.9	BESTENDIGHEID TEGEN INVLOEDEN VAN BINNENUIT	5-57
5.9.1	Veronderstelde lekkages	5-57
5.9.1.1	Definities	5-57
5.9.1.2	Gevolgen van veronderstelde lekkages.....	5-57
5.9.1.3	Faalwijzen in hoogenergetische pijpleidingen > DN 50	5-59
5.9.1.4	Faalwijzen in hoogenergetische pijpleidingen ≤ DN 50	5-59
5.9.1.5	Faalwijzen in 2 %-systemen	5-59
5.9.1.6	Faalwijzen in laagenergetische systemen	5-59
5.9.2	Principe van "Lek-voor-breuk"	5-59
5.9.3	Beveiliging tegen het falen van hoogenergetische leidingen.....	5-61
5.9.4	Ontwerp van de mechanische en elektrotechnische componenten ten aanzien van de omgevingscondities	5-61
5.9.5	Beveiliging tegen overstromingen binnen de installatie.....	5-62
5.9.6	Beveiliging tegen weggeslingerde brokstukken.....	5-63
5.9.7	Beveiliging tegen brand en explosies binnen de installatie	5-66
5.9.7.1	Beveiliging tegen brand	5-67
5.9.7.2	Beveiliging tegen explosies.....	5-67
5.10	BESTENDIGHEID TEGEN INVLOEDEN VAN BUITENAF	5-69
5.10.1	Aardbevingen.....	5-69
5.10.2	Vliegtuigval.....	5-69
5.10.3	Explosiedruk golf.....	5-70
5.10.4	Windbelastingen	5-70
5.10.5	Overstroming	5-70
5.10.6	Andere invloeden van buitenaf	5-70
5.10.7	Aantonen van de bestendigheid tegen invloeden van buitenaf	5-71
5.10.7.1	Bouwkundige constructies	5-71
5.10.7.2	Systemen en componenten	5-73
5.10.7.3	Elektrotechnische installaties en meet- en regelsystemen..	5-74

6.	SYSTEEMBESCHRIJVINGEN	6-6
6.1	REACTOR	6-6
6.1.1	Definities	6-6
6.1.2	Inleiding.....	6-8
6.1.3	Mechanisch ontwerp van de splijtstofelementen	6-12
6.1.3.1	Uitgangspunten van het ontwerp	6-12
6.1.3.2	Beschrijving van de constructie	6-13
6.1.3.3	Ontwerpberekeningen.....	6-15
6.1.4	Neutronenfysisch ontwerp van de kern	6-18
6.1.4.1	Doelstelling	6-18
6.1.4.2	Vermogensdichtheidsverdeling.....	6-18
6.1.4.3	Reactiviteitscoëfficiënten	6-18
6.1.4.4	Reactorregeling.....	6-19
6.1.4.5	Reactiviteit in afgeschakelde toestand en reactiviteitsbalans	6-20
6.1.4.6	Stabiliteit van de reactorkern	6-20
6.1.4.7	Kernbelading.....	6-20
6.1.5	Thermohydraulisch ontwerp van de kern.....	6-21
6.1.5.1	Doelstelling	6-21
6.1.5.2	Thermohydraulische kernontwerp	6-21
6.1.5.3	Ontwerpaspecten.....	6-22
6.1.5.4	Kritieke filmkookgrens (DNB).....	6-22
6.1.6	Functioneel ontwerp van de reactiviteitscontrolesystemen	6-22
6.2	REACTORKOEL- EN DRUKHOUDSYSTEEM	6-24
6.2.1	Reactorkoel- en drukhoudsysteem	6-24
6.2.1.1	Beschrijving en ontwerp.....	6-24
6.2.1.2	Beproevingen.....	6-34
6.2.2	Reactorvat.....	6-38
6.2.3	Binnenwerk van het reactorvat	6-41
6.2.4	Hoofdskoelmiddelpompen	6-44
6.2.5	Stoomgeneratoren	6-45
6.2.6	Hoofdskoelmiddelleidingen en afsluiters	6-48
6.2.7	Drukhouder en afblaastank.....	6-49
6.2.8	Regelstaafaandrijvingen	6-50
6.2.9	Akoestisch bewakingssysteem	6-51
6.3	VEILIGHEIDSVORZIENINGEN	6-52
6.3.1	Het principe van de veiligheidsomsluiting.....	6-53
6.3.1.1	Functioneel ontwerp van het reactorgebouw (01/02)	6-53
6.3.1.2	Voorzieningen voor het afsluiten van de gebouwen	6-56
6.3.1.3	Waterstofrecombinatie binnen de veiligheidsomhulling.....	6-57
6.3.1.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-58
6.3.2	Nucleair ventilatiesysteem (TL)	6-59
6.3.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-59
6.3.2.2	Systeembeschrijving	6-59
6.3.2.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-62
6.3.2.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-62
6.3.3	Kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ).....	6-65
6.3.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-65
6.3.3.2	Systeembeschrijving	6-65
6.3.3.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-67
6.3.3.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-74

6.3.4	Primair reservesuppletiesysteem (TW).....	6-76
6.3.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-76
6.3.4.2	Systeembeschrijving.....	6-76
6.3.4.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-78
6.3.4.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-78
6.3.5	Reserve nakoelsysteem (TE).....	6-80
6.3.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-80
6.3.5.2	Systeembeschrijving.....	6-80
6.3.5.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-82
6.3.5.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-82
6.3.6	Reserve noodkoelwatersysteem (VE).....	6-83
6.3.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-83
6.3.6.2	Systeembeschrijving.....	6-83
6.3.6.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-84
6.3.6.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-84
6.3.7	Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL).....	6-85
6.3.7.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-85
6.3.7.2	Systeembeschrijving.....	6-85
6.3.7.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-88
6.3.7.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-88
6.3.8	Secundair reservesuppletiesysteem (RS).....	6-90
6.3.8.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-90
6.3.8.2	Systeembeschrijving.....	6-90
6.3.8.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-92
6.3.8.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-92
6.3.9	Hoofdstoomsysteem (RA).....	6-95
6.3.9.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-95
6.3.9.2	Systeembeschrijving.....	6-95
6.3.9.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-98
6.3.9.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-99
6.3.10	Ventilatiesysteem regelzaal (UV/UW).....	6-100
6.3.10.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-100
6.3.10.2	Systeembeschrijving.....	6-100
6.3.10.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-101
6.3.10.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-101
6.3.11	Ventilatiesysteem reserveregelzaalgebouw (UV/UW).....	6-104
6.3.11.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-104
6.3.11.2	Systeembeschrijving.....	6-104
6.3.11.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-104
6.3.11.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-104
6.4	MEET- EN REGELSYSTEMEN	6-106
6.4.1	Meet- en regelsystemen.....	6-109
6.4.1.1	Meettechniek.....	6-109
6.4.1.2	Besturings- en regelinrichtingen.....	6-114
6.4.1.3	Storingmeldingssysteem.....	6-123
6.4.1.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-124
6.4.2	Reactorbeveiligingssysteem (YZ).....	6-125
6.4.2.1	Taak.....	6-125
6.4.2.2	Samenstelling van het systeem.....	6-125
6.4.2.3	Activeringssignalen.....	6-130
6.4.2.4	Reactorbeveiligingspaneel.....	6-136
6.4.2.5	Beveiligingsacties bij ontwerpongevallen.....	6-136
6.4.2.6	Veiligheidsbeschouwing.....	6-138

6.4.3	Panelen	6-139
6.4.3.1	Regelzaal, reserve-regelzaal, lokale bedieningspanelen ..	6-139
6.4.3.2	Informatiesystemen	6-141
6.4.3.3	Veiligheidsbeschouwing	6-143
6.5	ELEKTROTECHNISCHE INSTALLATIE	6-145
6.5.1	Aansluiting op het net	6-145
6.5.2	Stroomvoorziening voor het eigenbedrijf	6-147
6.5.2.1	Algemeen	6-147
6.5.2.2	6 kV-installaties	6-147
6.5.2.3	Laagspanningsinstallaties	6-147
6.5.2.4	Elektronische besturing	6-148
6.5.2.5	Kabels	6-148
6.5.2.6	Hoogspanningsmotoren	6-149
6.5.2.7	Laagspanningsmotoren	6-149
6.5.2.8	Transformatoren	6-149
6.5.2.9	Doorvoeringen door de veiligheidsomhulling	6-151
6.5.3	Noodstroomvoorziening	6-152
6.5.3.1	Algemeen	6-152
6.5.3.2	Dieselinstallaties	6-153
6.5.3.3	Omvormers	6-153
6.5.3.4	Accu's en gelijkrichters voor 220 en 24 V	6-154
6.5.4	Verlichting en huisinstallatie	6-155
6.5.4.1	Normaal net 400 V/220 V, 50 Hz	6-155
6.5.4.2	Noodverlichtingsinstallatie	6-155
6.5.4.3	Vluchtwegverlichting	6-155
6.5.5	Aarding en bliksembeveiliging	6-156
6.5.6	Veiligheidsbeschouwing elektrotechnische installatie	6-158
6.6	BEDRIJFS- EN HULPSYSTEMEN	6-159
6.6.1	Nucleair tussenkoelwatersysteem (TF)	6-159
6.6.1.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-159
6.6.1.2	Systeembeschrijving	6-159
6.6.1.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-161
6.6.1.4	Veiligheidsbeschouwing	6-161
6.6.2	Conventioneel tussenkoelwatersysteem (VG)	6-163
6.6.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-163
6.6.2.2	Systeembeschrijving	6-163
6.6.2.3	Wijzen van bedrijfsvoering	6-163
6.6.2.4	Veiligheidsbeschouwing	6-164
6.6.3	Nood- en nevenkoelwatersysteem (VF)	6-166
6.6.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-166
6.6.3.2	Systeembeschrijving	6-168
6.6.3.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-168
6.6.3.4	Veiligheidsbeschouwing	6-168
6.6.4	Hoofdkoelwatersysteem (VC)	6-169
6.6.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-169
6.6.4.2	Systeembeschrijving	6-169
6.6.5	Volumeregelsysteem (TA)	6-171
6.6.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-171
6.6.5.2	Systeembeschrijving	6-171
6.6.5.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-172
6.6.5.4	Veiligheidsbeschouwing	6-174

6.6.6	Nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB)	6-175
6.6.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-175
6.6.6.2	Systeembeschrijving	6-175
6.6.6.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-176
6.6.6.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-176
6.6.7	Hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC)	6-179
6.6.7.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-179
6.6.7.2	Systeembeschrijving	6-179
6.6.8	Hoofdkoelmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD)	6-182
6.6.8.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-182
6.6.8.2	Systeembeschrijving	6-182
6.6.9	Koelsysteem van het biologisch schild (TM).....	6-185
6.6.9.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-185
6.6.9.2	Systeembeschrijving	6-185
6.6.10	Water- en stoomverzorgingssysteem (TN)	6-187
6.6.10.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-187
6.6.10.2	Systeembeschrijving	6-187
6.6.11	Persluchtsysteem (TP050-080)	6-189
6.6.11.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-189
6.6.11.2	Systeembeschrijving	6-189
6.6.12	Monsternamesysteem (TV).....	6-189
6.6.12.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-189
6.6.12.2	Systeembeschrijving	6-189
6.6.13	Installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY)	6-190
6.6.13.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-190
6.6.13.2	Systeembeschrijving	6-190
6.6.14	Nucleair gebouwonwateringssysteem (TZ)	6-190
6.6.14.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-190
6.6.14.2	Systeembeschrijving	6-190
6.6.15	Deminwateraanmaaksysteem (UA)	6-191
6.6.15.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-191
6.6.15.2	Systeembeschrijving	6-191
6.6.16	Telefoon- en alarminstallaties	6-191
6.7	CONVENTIONEEL SYSTEEM	6-192
6.7.1	Turbogenerator (SA-SZ)	6-194
6.7.1.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-194
6.7.1.2	Systeembeschrijving	6-194
6.7.2	Hoofdcondensaatsysteem (RM)	6-197
6.7.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-197
6.7.2.2	Systeembeschrijving	6-197
6.7.3	Hulpstoomsysteem (RQ).....	6-199
6.7.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-199
6.7.3.2	Systeembeschrijving	6-199
6.7.4	Stoomgeneratorspuisysteem (RY).....	6-200
6.7.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-200
6.7.4.2	Systeembeschrijving	6-200
6.7.5	Deminwatersuppletiesysteem (RZ).....	6-200
6.7.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6-200
6.7.5.2	Systeembeschrijving	6-200
6.8	BRANDBEHEERSSYSTEMEN	6-201
6.8.1	Brandmeldinstallatie (MF)	6-201
6.8.2	HD-brandblussysteem (UF)	6-201
6.8.3	LD-brandblussysteem (UJ)	6-202
6.8.4	Brandblussysteem transformatoren (UG)	6-203
6.8.5	CO2- en Inergenblusinstallatie (UX)	6-203

6.9	SPLIJTSTOFOPSLAGSYSTEMEN	6-204
6.9.1	Opslag van splijtstofelementen	6-204
6.9.1.1	Opslag van nieuwe splijtstofelementen	6-204
6.9.1.2	Opslag van gebruikte splijtstofelementen	6-204
6.9.2	Splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG).....	6-206
6.9.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-206
6.9.2.2	Systeembeschrijving	6-206
6.9.2.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-209
6.9.2.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-209
6.10	RADIOACTIEF AFVALBEHANDELING	6-211
6.10.1	Radioactief afvalwatersysteem (TR).....	6-211
6.10.1.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-211
6.10.1.2	Systeembeschrijving	6-211
6.10.1.3	Lozing van vloeibaar radioactief afval.....	6-212
6.10.2	Radioactief gasbehandelingssysteem (TS, TL)	6-214
6.10.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-214
6.10.2.2	Systeembeschrijving	6-214
6.10.2.3	Lozing van gasvormig radioactief afval.....	6-215
6.10.3	Radioactief vast afvalstelsel (TT)	6-217
6.10.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-217
6.10.3.2	Systeembeschrijving	6-217
6.11	VOORZIENINGEN VOOR HET BEHEEREN VAN ERNSTIGE ONGEVALLEN	6-218
6.11.1	Concept van maatregelen bij ernstige ongevallen.....	6-218
6.11.2	Accident Management maatregelen	6-219
6.11.2.1	Vergroten van de beschikbare water- en dieselvoorraad in het reservesuppletiegebouw (33).....	6-219
6.11.2.2	Additionele watertoevoer naar de stoomgeneratoren.....	6-220
6.11.2.3	Additionele watertoevoer naar het primair systeem	6-220
6.11.2.4	Additionele watertoevoer naar het splijtstofopslagbassin..	6-220
6.11.2.5	Watertoevoer ten behoeve van externe reactorvatkoeling	6-220
6.11.2.6	Elektriciteitsvoorziening tijdens een "Station Blackout"	6-221
6.11.3	Systeem voor gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling (TL003).....	6-222
6.11.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-222
6.11.3.2	Systeembeschrijving	6-223
6.11.4	Gasdetectie- en ontsteeksysteem (MK).....	6-225
6.11.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-225
6.11.4.2	Systeembeschrijving	6-225
6.11.5	Passief waterstofrecombinatiesysteem (TS-100)	6-225
6.11.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-225
6.11.5.2	Systeembeschrijving	6-225
6.11.6	Explosieluiken (ZB)	6-226
6.11.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-226
6.11.6.2	Systeembeschrijving	6-226
6.11.7	Ongevalse-monsternamesysteem	6-226

7.	VEILIGHEIDSANALYSES	7-4
7.1	DETERMINISTISCHE VEILIGHEIDSANALYSES	7-5
7.2	BEGINGEBEURTENISSEN	7-7
7.2.1	Inleiding.....	7-7
7.2.2	Begingebourtenissen (basislijst)	7-7
7.2.3	Begingebourtenissen (aanvullende lijst)	7-12
7.3	(ONDERBOUWING) REPRESENTATIEVE BEGINGEBEURTENISSEN	7-16
7.3.1	Inleiding.....	7-16
7.3.2	Representatieve begingebourtenissen (basislijst)	7-17
7.3.2.1	Verhoogde warmte-afvoer door het secundair systeem.....	7-17
7.3.2.2	Verminderde warmte-afvoer door het secundair systeem...	7-18
7.3.2.3	Vermindering van het debiet in het primair systeem	7-20
7.3.2.4	Verandering van de druk in het primair systeem	7-20
7.3.2.5	Onbedoelde verandering reactiviteit en vermogensverdeling.....	7-21
7.3.2.6	Toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel	7-22
7.3.2.7	Lekkages van hoofdkoelmiddel	7-22
7.3.2.8	Ontsnappen radioactieve stoffen uit systemen of componenten	7-25
7.3.2.9	Externe invloeden	7-26
7.3.2.10	Diversen	7-28
7.3.3	Representatieve begingebourtenissen (aanvullende lijst)	7-29
7.3.3.1	Normaal bedrijf en storingen.....	7-29
7.3.3.2	Ontwerpongevallen	7-30
7.4	THERMOHYDRAULISCHE ANALYSES	7-35
7.4.1	Inleiding.....	7-35
7.4.2	Uitgangspunten en randvoorwaarden.....	7-35
7.4.3	Rekenmodellen	7-36
7.4.4	Thermohydraulische analyses voor representatieve begingebourtenissen	7-36
7.4.4.1	Onbedoeld openen van appendages (o.a. afsluiters, afregel- en veiligheidskleppen) in de secundaire kringloop (PIE 1.4)	7-36
7.4.4.2	Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)	7-41
7.4.4.3	Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (PIE 1.5.6)	7-47
7.4.4.4	TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2).....	7-53
7.4.4.5	Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)	7-57
7.4.4.6	Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)	7-63
7.4.4.7	Breuk of blokkade van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)	7-67
7.4.4.8	Onbedoeld uittrekken van regelstaven (PIE 5.1)	7-74
7.4.4.9	Uitworp van de meest effectieve regelstaaf (PIE 5.2)	7-78
7.4.4.10	Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)	7-82
7.4.4.11	Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2)	7-86
7.4.4.12	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2)	7-89
7.4.4.13	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3).....	7-95

	7.4.4.14	Lekkage van 20 cm ² in het reactorvat, beneden de bovenkant van de kern (PIE D3-27 / 7.2.5)	7-99
	7.4.4.15	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2).....	7-102
	7.4.4.16	Gevolgen van een aardbeving op gebouwen en systemen aardbevingsklasse I (PIE 9.1.1)	7-108
	7.4.4.17	Overtolerantie van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 10.2)	7-113
	7.4.4.18	Bedrijfstransiënten waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (PIE 10.5)	7-115
7.5	RADIOLOGISCHE ANALYSES		7-120
	7.5.1	Definities	7-120
	7.5.2	Inleiding.....	7-121
	7.5.3	Uitgangspunten en randvoorwaarden.....	7-122
	7.5.3.1	Brontermen	7-122
	7.5.3.2	Effectieve dosis	7-127
	7.5.4	Rekenmodel.....	7-128
	7.5.4.1	Invoergegevens	7-128
	7.5.4.2	Berekeningswijze	7-129
	7.5.5	Radiologische analyses voor representatieve begingebourtenissen ..	7-130
	7.5.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdcooling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen (PIE 1.5.1)	7-130
	7.5.5.2	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2)	7-133
	7.5.5.3	Breuk van de hoofdcoolmittleiding (PIE 7.2.3).....	7-137
	7.5.5.4	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig) (PIE 7.3.2.2)	7-145
	7.5.5.5	Lekkage van een meetleiding die hoofdcoolmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling (PIE 7.4.2).....	7-148
	7.5.5.6	Lekkage in een leiding van het afgassysteem (PIE 8.2)....	7-151
	7.5.5.7	Beschadigingen van splijstofelementen tijdens het hanteren (PIE 8.4.1).....	7-153
	7.5.5.8	Gevolgen van een aardbeving op het reactorgebouw (PIE 9.1.2).....	7-154
	7.5.5.9	Externe bestraling vanuit reactorgebouw (directe straling)	7-156
7.6	OVERIGE DETERMINISTISCHE ANALYSES		7-159
	7.6.1	Inleiding.....	7-159
	7.6.2	Overige deterministische analyses voor representatieve begingebourtenissen.....	7-159
	7.6.2.1	Vorming van laag-geboreerde gebieden in het primair systeem (interne verdunning) (PIE D3-20)	7-159
	7.6.2.2	Breuk van een regelstaafbehuizing met uitwerp van een regelstaaf (D3-42)	7-159
	7.6.3	Containmentanalyses	7-160
	7.6.3.1	Minimale lekdebieten voor het aanspreken van het 30 mbar signaal.....	7-160
	7.6.3.2	Druk- en temperatuurverloop in de veiligheidsomhulling bij een lekkage in het primair systeem.....	7-161
	7.6.3.3	Druk- en temperatuurverloop in de veiligheidsomhulling bij een lekkage in het secundair systeem	7-161

7.7	VEILIGHEIDSANALYSES VOOR BUITENONTWERPONGEVALLEN	7-163
7.7.1	Inleiding.....	7-163
7.7.2	Aanvullende begingebourtenissen.....	7-163
7.7.2.1	Begingebourtenissen ten aanzien van het reactorsysteem	7-163
7.7.2.2	Begingebourtenissen ten aanzien van het splitsstofopslagbassin	7-171
7.7.3	Ongevulsbeheerstrategieën.....	7-172
7.7.3.1	Primaire bleed & feed bij verlies van secundaire warmte afvoer	7-172
7.7.3.2	Secundaire bleed & feed bij volledig verlies van voedingswater	7-173
7.8	PROBABILISTISCHE VEILIGHEIDSANALYSES	7-175
7.8.1	Inleiding.....	7-175
7.8.2	PSA-methodiek.....	7-175
7.8.3	(L)PSA-model KCB	7-176
7.8.3.1	Niveau 1	7-176
7.8.3.2	Niveau 2	7-177
7.8.3.3	Niveau 3	7-178
7.8.3.4	Onzekerheden	7-178
7.8.4	Resultaten	7-178
7.8.4.1	Niveau 1	7-179
7.8.4.2	Niveau 2	7-179
7.8.4.3	Niveau 3	7-184
7.9	SAMENVATTING EN CONCLUSIE VEILIGHEIDSANALYSES	7-186
7.9.1	Inleiding.....	7-186
7.9.2	Begingebourtenissen	7-186
7.9.3	Deterministische veiligheidsanalyses	7-187
7.9.3.1	Thermohydraulische analyses	7-187
7.9.3.2	Radiologische analyses	7-188
7.9.3.3	Analyses voor buitenontwerpingevallen	7-190
7.9.4	Probabilistische veiligheidsanalyses.....	7-191
7.9.4.1	PSA.....	7-191
7.9.4.2	Resultaten m.b.t. individueel risico en groepsrisico.....	7-191
7.9.5	Conclusie	7-193
8.	INBEDRIJFSTELLING	8-2
8.1	INBEDRIJFSTELLING KCB	8-2
9.	BEDRIJFSVOERING	9-2
9.1	PROCEDURES	9-2
9.1.1	Inleiding.....	9-2
9.1.2	Administratieve procedures	9-2
9.1.2.1	Periodiek documentreview.....	9-3
9.1.3	Werkdocumenten.....	9-3
9.1.3.1	Werkdocumenten voor normaal bedrijf.....	9-3
9.1.3.1	Werkdocumenten tijdens storingen	9-5
9.1.3.2	Werkdocumenten tijdens noodsituaties	9-5
9.2	ONDERHOUD, SURVEILLANCE EN IN-SERVICE-INSPECTIE	9-7
9.2.1	Inleiding.....	9-7
9.2.2	Instandhouding	9-7
9.2.2.1	Vaststellen van Instandhoudingsprogramma's.....	9-7
9.2.2.2	Planning en werkvoorbereiding	9-8
9.2.2.3	Uitvoering van Instandhoudingsactiviteiten	9-8
9.2.2.4	Verouderingsbeheer	9-9
9.2.2.5	Evaluatie	9-9

9.3	PLANNING EN HANTEREN VAN SPLIJTSTOF IN DE KERN	9-10
9.3.1	Inleiding Spleijstofmanagement	9-10
9.3.2	Spleijstofmanagement	9-10
9.3.2.1	Verwerving en fabricage	9-10
9.3.2.2	Transport van nieuwe spleijstofelementen	9-10
9.3.2.3	Ingangscntrole spleijstofelementen	9-11
9.3.2.4	Kernontwerp.....	9-11
9.3.2.5	Spleijstofwisseling.....	9-11
9.3.2.6	Hanteren van spleijstofelementen	9-11
9.3.2.7	Kernbewaking, inspecties, beproevingen	9-12
9.3.2.8	Tussenopslag van spleijstofelementen.....	9-12
9.3.2.9	Transport van gebruikte spleijstofelementen	9-13
9.3.2.10	Opwerking en opslag	9-13
9.3.2.11	Stralingsaspecten	9-13
9.3.2.12	Opbrandmetingen	9-14
9.4	VEROUDERINGSBEHEER	9-15
9.4.1	Inleiding.....	9-15
9.4.2	Verouderingsbeheer (VOB) EPZ-KCB.....	9-16
9.5	WIJZIGINGSBEHEER	9-18
9.6	KWALIFICATIE EN TRAINING VAN PERSONEEL	9-19
9.7	MENSELIJKE FACTOREN	9-20
9.8	PROGRAMMA VOOR TERUGKOPPELING BEDRIJFSERVARINGEN	9-25
9.9	DOCUMENTBEHEER	9-26
9.10	SPLIJTSTOFWISSELSTOP	9-28
10.	TECHNISCHE SPECIFICATIES	10-2
10.1	ALGEMEEN	10-2
10.2	INDELING VAN DE TECHNISCHE SPECIFICATIES	10-3
11.	STRALINGSBESCHERMING	11-2
11.1	STRALINGSBESCHERMINGSPROGRAMMA	11-2
11.2	BRONNEN VAN IONISERENDE STRALING	11-4
11.2.1	Radioactieve bronnen	11-4
11.2.1	“Hete” laboratorium	11-5
11.3	ONTWERPASPECTEN TEN AANZIEN VAN DE STRALINGSBESCHERMING	11-6
11.3.1	Ontwerpbasis	11-6
11.3.2	Afscherming.....	11-6
11.3.3	Ventilatie	11-8
11.3.4	Instrumentatie ten behoeve van de stralingsbescherming	11-8
11.3.5	Zonering.....	11-9
12.	ALARMRESPONSORGANISATIE KCB	12-2
12.1	INLEIDING ALARMRESPONSORGANISATIE KCB	12-2
12.1.1	Definities	12-2
12.1.2	Uitgangspunten.....	12-2
12.2	ALARMRESPONSORGANISATIE KCB	12-4
12.2.1	Ongevalselassificatie	12-5
12.3	ALARMRESPONSMIDDELEN	12-6
12.3.1	Alarmresponsaccommodaties	12-6
12.3.2	Overige technische Alarmresponsmiddelen	12-7
12.3.3	Alarmresponsprocedures en -instructies	12-7
12.4	EVALUATIE	12-10

13.	MILIEU	13-2
13.1	NUCLEAIRE MILIEUASPECTEN	13-2
13.1.1	Dosis van omwonenden	13-2
13.2	NIET-NUCLEAIRE MILIEUASPECTEN	13-8
13.2.1	Lucht	13-9
13.2.2	Bodem	13-10
13.2.3	Oppervlaktewater	13-10
13.2.4	Geluid	13-11
13.2.5	Afvalstoffen	13-13
13.2.6	Energieverbruik	13-14
13.2.7	Overige	13-14
14.	RADIOACTIEF AFVAL	14-2
14.1	BRONNEN VAN RADIOACTIEF AFVAL	14-2
14.1.1	Inventaris van de reactorkern	14-3
14.1.2	Activiteit van het hoofdkoelmiddel	14-6
14.1.3	Activiteit in de lucht van de gebouwen	14-8
14.2	BEHEERSING EN BEHANDELING VAN VLOEIBAAR RADIOAFVAL	14-11
14.2.1	Uitgangspunten	14-11
14.2.2	Lozing van vloeibaar radioactief afval	14-11
14.3	BEHEERSING EN BEHANDELING VAN GASVORMIG RADIOACTIEF AFVAL	14-13
14.3.1	Uitgangspunten	14-13
14.3.2	Lozing van gasvormig radioactief afval	14-13
14.4	BEHEERSING EN BEHANDELING VAN OVERIG RADIOACTIEF AFVAL	14-15
14.4.1	Uitgangspunten	14-15
14.4.2	Afgifte van overig radioactief afval	14-15
14.5	VERGELIJKING VAN DE LOZINGEN MET DE VERGUNNINGSLIMIETEN	14-17
14.6	ACTIVITEITSBEWAKING	14-18
14.6.1	Bewaking van de activiteit in gebouwen en systemen	14-18
14.6.2	Bewaking van de afgegeven activiteit	14-18
15.	ONTMANTELING	15-2
15.1	INLEIDING	15-2
15.2	ONTMANTELINGSPLAN KCB	15-3
15.2.1	De strategie	15-3
15.2.2	Fasering	15-3
15.2.3	Hoeveelheden en soort afval	15-5
15.2.4	Mogelijke technieken	15-7
15.2.5	Verpakkingsvormen	15-7
15.2.6	Projectorganisatie	15-7
15.2.7	Veiligheidsvoorzieningen tijdens ontmanteling	15-7
15.2.8	Voorlopige planning	15-8
15.2.9	Financiële reservering	15-8
15.2.10	Documentbeheer	15-8
15.2.11	Overig	15-8

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	1-2
1.1 VEILIGHEIDSRAPPORT	1-2
1.2 HISTORIE	1-3
1.3 BEGRIPPEN, AFKORTINGEN, CODERINGEN, EENHEDEN EN SYMBOLEN ...	1-4
1.3.1 Begrippen.....	1-4
1.3.2 Afkortingen.....	1-8
1.3.3 Systeemcoderingen	1-11
1.3.4 Eenheden.....	1-13
1.3.5 Symbolen	1-14

1. INLEIDING

1.1 VEILIGHEIDSRAPPORT

Het voorliggende veiligheidsrapport (VR) bevat een beschrijving van de installatie van de kernenergiecentrale Borssele (KCB) alsmede een beschrijving van de genomen maatregelen ter bescherming van mensen, dieren, planten en goederen. Hierin zijn zowel maatregelen ter voorkoming van gevaar, schade of hinder tijdens normaal bedrijf begrepen, als beschermende maatregelen tegen gevaren die voortvloeien uit redelijkerwijs mogelijk te achten ongevallen die een radiologische besmetting van de omgeving tot gevolg zouden kunnen hebben.

In het veiligheidsrapport worden de functionele eisen, globaal ontwerp en de grenswaarden ten aanzien van de veiligheid gegeven alsmede de hoofdkenmerken van de uitvoering. Tevens worden zowel getalswaarden van resultaten van ontwerpberekeningen en analyses als veelal indicatieve getalswaarden van fysische grootheden, capaciteiten, afmetingen etc. gepresenteerd. De genoemde functionele eisen, marges ten opzichte van de veiligheidsgrenzen en hoofdkenmerken van de uitvoering mogen niet zondermeer gewijzigd worden door wijzigingen in de installatie.

Het VR bestaat uit 15 hoofdstukken en behandelt alle essentiële aspecten die voor een veiligheidstechnische beoordeling van de installatie nodig zijn. De hoofdstukindeling is conform NVR GS-G-4.1.

Allereerst wordt een samenvattende beschrijving van de installatie gegeven (hoofdstuk 2). Vervolgens worden veiligheid en organisatie (hoofdstuk 3) en de vestigingsplaats (hoofdstuk 4) beschreven. De algemene ontwerpprincipes die gehanteerd zijn bij het ontwerp van de centrale worden beschreven in hoofdstuk 5. Vervolgens worden de systemen die van belang zijn voor de veiligheid en de bedrijfsvoering van de installatie en de elektrische en besturingssystemen behandeld (hoofdstuk 6). In het hoofdstuk 7 over de veiligheidsanalyses wordt uitgaande van een uitgebreid ongevallenspectrum aangetoond, dat deze ongevallen beheerst worden zonder de uit het Nederlandse risicobeleid afgeleide dosiscriteria voor ontwerpgevallen te overschrijden. De inbedrijfstelling en normale bedrijfsvoering van de installatie worden beschreven in de volgende twee hoofdstukken (hoofdstukken 8 en 9). In hoofdstuk 10 worden de Technische Specificaties beschreven. De aspecten met betrekking tot de stralingsbelasting van mens en milieu bij normaal bedrijf worden in hoofdstuk 11 behandeld. In hoofdstuk 12 en 13 worden respectievelijk het alarmplan en de (niet-)nucleaire milieuaspecten beschreven. Vervolgens worden de voorzieningen in de installatie beschreven om het radioactief afval te beheersen en af te voeren (hoofdstuk 14). In hoofdstuk 15 wordt op hoofdlijnen beschreven hoe de centrale te zijner tijd definitief buiten bedrijf zal worden gesteld.

1.2 HISTORIE

De kernenergiecentrale Borssele (KCB) is ontworpen en gebouwd door het Duitse Siemens/KWU (tegenwoordig AREVA) en in 1973 in bedrijf gesteld. Voor het in werking brengen en in werking houden van deze kernenergiecentrale is destijds vergunning verleend aan de N.V. Provinciale Zeeuwse Energie-Maatschappij (PZEM) bij Koninklijk Besluit nummer 46 van 13 september 1979, waarbij de in beschikking 373/1132/EEK van 18 juni 1973 verleende vergunning nader is vastgesteld. Ter beoordeling van de vergunningsaanvraag was een veiligheidsrapport bijgevoegd, "Kerncentrale Borssele - Sicherheitsbericht Juni 1972". Daarna zijn er diverse wijzigingen van de vergunning geweest. In 1990 is de N.V. Elektriciteits-Productiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ) de eigenaar van de kernenergiecentrale geworden.

In 1993 is het veiligheidsrapport "Kerncentrale Borssele - Sicherheitsbericht Juni 1972", als onderdeel van de vergunningsaanvraag voor het realiseren van een omvangrijk pakket veiligheidsverhogende maatregelen naar de aanleiding van de toenmalige 10-jaarlijkse evaluatie, vervangen door een nieuw Nederlandstalig veiligheidsrapport "Veiligheidsrapport kernenergie-eenheid centrale Borssele". Deze vervanging was ingegeven door de vele wijzigingen, waarbij in overleg met het bevoegde gezag is gekozen voor een veiligheidsrapport met een karakter en een grote mate van toegankelijkheid voor het publiek, en dus beperkte diepgang.

Daarna hebben diverse aanpassingen aan de KEW-vergunning plaatsgevonden als gevolg van verhoogde verrijkingsgraad (1999), verhoogde verrijkingsgraad 4,4% (2004), 10-jaarlijkse evaluatie 10EVA03 (2005), brandstofdiversificatie (2011) en Long Term Operation (2013). Hierbij is het veiligheidsrapport uit 1993 steeds weer aangepast en aangevuld.

In het kader van de 10-jaarlijkse evaluatie 10EVA13 is in overleg met het bevoegd gezag besloten een geheel nieuwe kernenergievergunning aan te vragen (revisievergunning). Als onderdeel van de aanvraag is, vanwege de evolutie van de inzichten en eisen ten aanzien van de opzet en inhoud van een veiligheidsrapport, met het bevoegd gezag overeengekomen eveneens een nieuw veiligheidsrapport op te stellen dat voor wat betreft indeling aansluit bij de NVR GS-G-4.1 ("Vorm en inhoud van het veiligheidsrapport voor kernenergiecentrales"). Het onderhavige document is het nieuwe veiligheidsrapport "Veiligheidsrapport kernenergiecentrale Borssele".

In de tekst van de veiligheidsrapport VR15, versie 1 zijn de wijzigingen gemarkeerd waarmee invulling gegeven wordt aan de veiligheidsverhogende maatregelen zoals vastgesteld naar aanleiding van de 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie 10EVA13, waarin zijn begrepen de vergunningsplichtige maatregelen naar aanleiding de Complementary Safety margin Assessment (CSA), ook wel het Europees robuustheidsonderzoek genoemd, dat is uitgevoerd naar aanleiding van de gebeurtenissen in Fukushima, Japan in 2011. De wijzigingen/aanvullingen in de tekst zijn aangegeven middels een **blauwe** streep in de kantlijn en **blauw** gemarkeerd. Wijzigingen in figuren zijn middels arceringen aangegeven (de nummers van de figuren, waarin wijzigingen zijn aangebracht, zijn op dezelfde wijze als de tekstwijzigingen gemarkeerd).

1.3 BEGRIPPEN, AFKORTINGEN, CODERINGEN, EENHEDEN EN SYMBOLEN

1.3.1 Begrippen

Accident Management	Maatregelen die genomen worden om de installatie in een veilige toestand te brengen of ter beperking van de gevolgen in het geval van ongevallen (ontwerp- en buiten-ontwerpongevallen).
Activiteit	Het aantal spontane atoomkernmutaties in een hoeveelheid radioactieve stof per seconde (eenheid: becquerel, Bq)
Autarkie	Periode waarin alle voor de nucleaire veiligheid benodigde acties volledig automatisch worden uitgevoerd zonder dat menselijk ingrijpen noodzakelijk is.
Autonomie	Periode waarin alle voor de nucleaire veiligheid benodigde acties kunnen worden uitgevoerd zonder dat hulp van buiten de centrale noodzakelijk is.
Begingebuurtenis	(Veronderstelde) gebeurtenis, die het begin kan zijn van een ongeval.
Beladingsplan	Plan dat aangeeft hoe (met welke elementen op welke kernposities) de reactor voor een bepaalde cyclus beladen zal worden.
Belastingstoestand	Wijziging in mechanische of thermische belasting waardoor spanningen in een materiaal optreden.
Bronterm	Hoeveelheid en soort radioactieve stoffen die geloosd kunnen worden, inclusief gegevens over moment, lozingsduur, warmte-inhoud, lozingshoogte en kans van optreden.
Buiten-ontwerpongeval	Een verondersteld ongeval, waarvoor de installatie niet is ontworpen.
Compactrek	Rek in het splijtstofopslagbassin voorzien van neutronenabsorberend materiaal waarin splijtstofelementen op compacte wijze worden opgeslagen.
Conservatief/conservatisme	Bij bewijsvoering of controle uitgaan van het ongunstigst denkbare scenario.
Containment	Veiligheidsomhulling.
DNB-verhouding	De verhouding tussen de kritieke warmteflux, waarbij de overgang van kiemkoken naar filmkoken optreedt en de aan de splijtstofomhulling optredende warmteflux. De minimale DNB-verhouding is een maatstaf voor de beveiliging tegen filmkoken.
Dosis	Geabsorbeerde stralingsenergie per massa-eenheid (eenheid: Gray, Gy).
Drukwaterreactor	Reactor waarin de opgewekte warmte door koelwater dat onder druk staat (en daardoor niet kookt) en via een stoomgenerator wordt overgedragen aan een secundair systeem waarin stoom ontstaat die een turbine aandrijft.
Effectieve dosis	Maat voor de globale dosis van het lichaam als geheel.
Element	Zie splijtstofelement.
Emissie	Uitworp (lozing) van stoffen in het milieu.
Enriched Natural Uranium	Verrijkt natuurlijk uranium

Enriched Reprocessed Uranium	Verrijkt gerecycled (of gerecycleerd) uranium. Dit uranium is in het algemeen hoger verrijkt uranium dan verrijkt natuurlijk uranium, ter compensatie van niet natuurlijke uraniumisotopen die het kernsplijtingsproces minder efficiënt maken.
Filmkoken	Bij filmkoken vormen aan het verwarmd oppervlak de afzonderlijke dampbellen een aaneengesloten film. De warmte-overdracht van het verwarmd oppervlak aan de vloeistof vindt via deze stoomfilm plaats.
Gecontroleerd gebied	Het gecontroleerd gebied wordt gevormd door het reactorgebouw en het reactorhulpgebouw. De toegang hiertoe wordt bewaakt en de in het gecontroleerd gebied ontvangen stralingsdosis wordt gemeten en geregistreerd.
Ioniserende straling	Straling die opname of afgifte van elektronen door atomen of moleculen kan veroorzaken.
Isotopen	Nucliden met hetzelfde aantal protonen (van hetzelfde chemische element) maar met verschillend aantal neutronen.
Kernsplijting	Het splijten van een atoomkern in twee (lichtere) delen.
Kiemkoken	Bij kiemkoken worden aan het verwarmd oppervlak afzonderlijke dampbellen gevormd. Het verwarmd oppervlak blijft hierbij volledig door de vloeistof bevochtigd.
Kritikaliteit	Toestand van de reactor ten opzichte van de kritieke toestand.
Meet- en regeltechniek	Meet- en regeltechniek is het overkoepelende begrip voor de disciplines meten, sturen, regelen, beveiligen en bewaken (verwerking van procesgegevens).
Mengoxide	Een splijtstof samengesteld uit een mengsel van uraniumdioxide en plutoniumdioxide.
Neutron	Ongeladen deeltje uit atoomkernen.
Normaal bedrijf	Onder normaal bedrijf valt het bedrijf binnen gespecificeerde bedrijfslimieten en -condities, inclusief het uitbedrijf zijn, opstarten, vermogensbedrijf, afschakelen, onderhoud, testen en splijtstofwisselen.
Nuclide	Een soort atoomkern gekenmerkt door het aantal protonen en het aantal neutronen in de kern.
Onderkritikaliteit	Mate waarin een hoeveelheid splijtstof zich beneden de kritieke toestand bevindt.
Ongeval	Met een ongeval wordt een afwijking van normaal bedrijf of een storing bedoeld waarna het bedrijven van de installatie uit veiligheidstechnisch oogpunt niet zonder meer voortgezet kan worden.
Ongevalsanalyse	Formele studie omtrent het verloop van een ongeval (bij ontwerpongevallen).
Ontwerpongeval	Ongeval waar de installatie is voor ontworpen en dus tegen bestand is en waarbij de afgifte van radioactieve stoffen dus binnen acceptabele limieten blijft.
Opbrand	Versplijtingsgraad. Een maat voor de fractie van het splijtbaar materiaal dat is verspleten, uitgedrukt in de totale hoeveelheid energie opgewekt per massa-eenheid zwaar metaal. De opbrand kan bezien worden per (deel van de) splijtstofstaaf, per splijtstofelement dan wel voor de gehele of het ontladen deel van de kern.

Pu-splijtbaar	Het massagehalte van de splijtbare isotopen plutonium-239 en plutonium-241 in verse MOX splijtstof uitgedrukt als fractie van de massa van alle zware metalen.
Reactiviteit	Mate waarin de kettingreactie in een kernreactor voortgang vindt.
Reactor	Installatie waarbinnen een beheerste kettingreactie van kernsplijtingen op gang gehouden wordt.
Regelelement/staven	Een regelelement/staven steekt in een splijstofelement. Door het regelelement/staven meer of minder in het splijstofelement te steken kan het vermogen van de reactor worden geregeld en kan deze worden afgeschakeld.
Regeling	Met regeling wordt het proces bedoeld, waarbij de regelgrootte (werkelijke waarde) met de besturingsgrootte (gewenste waarde) wordt vergeleken en afhankelijk van regelafwijkingen dusdanig wordt beïnvloed dat de regelgrootte aan de besturingsgrootte wordt aangepast (gesloten kringloop, regelkringloop).
Revisievergunning	Een revisievergunning is één vergunning die in de plaats komt van de tot dan toe voor een inrichting geldende vergunning met bijbehorende wijzigingsbeschikkingen.
Risico	Ongewenste gevolgen van een bepaalde activiteit verbonden met de kans dat deze zich zullen voordoen.
Splijtstof	Stoffen waarmee in een kernreactor een kettingreactie van kernsplijtingen in stand kan worden gehouden.
Splijstofelement	Constructie van aan elkaar gemonteerde splijstofstaven.
Splijstofopslagbassin	Met geboreerd water gevuld bassin waarin gebruikte en nieuwe splijstofelementen tijdelijk worden opgeslagen.
Splijstofelementskelet	Het skelet van het splijstofelement bestaat uit de afstandshouders, de regelstaafgeleidingsbuizen en de kop en voet van het splijstofelement. Aan de kop van het splijstofelement zijn de regelstaafgeleidingsbuizen vastgelast of vastgeschroefd en aan de voet zijn zij vastgeschroefd.
Splijstofstaaf	Buis waarin de splijtstof zich bevindt in de vorm van een stapel tabletten splijtstof.
Splijstofstaafomhulling	Buis waarin de splijstoftabletten gestapeld worden.
Splijstoftabletten	Tabletten van splijtstof waarmee, in een kolom gestapeld, splijstofstaven gevuld worden.
Splijstofwisseling	Verwisseling van gebruikte splijstofelementen onderling of door verse elementen.
Station Blackout	Situatie waarbij het uitvallen van de totale externe elektriciteitsvoorziening, het uitvallen van de eigenbedrijfsvoorziening en het niet beschikbaar zijn van noodstroomnet 1 wordt verondersteld. Additioneel kan het uitvallen van noodstroomnet 2 worden verondersteld.
Storing	Onder een storing worden alle bedrijfstoestanden gerekend die afwijken van normaal bedrijf en waarvan verwacht kan worden dat ze eens of enkele malen gedurende de bedrijfsperiode van de installatie op kunnen treden. Als gevolg van voorzieningen in het ontwerp veroorzaken deze toestanden geen wezenlijke schade aan veiligheidsrelevante onderdelen en leiden zij niet tot een ongeval.

Transient	Een verstoring in de warmtehuishouding c.q. energiebalans van de installatie.
Veiligheidsvoorzieningen	Veiligheidsvoorzieningen hebben tot taak, de installatie te beveiligen tegen ontoelaatbare belastingen, en bij voorkomende ongevallen de gevolgen daarvan voor het bedieningspersoneel, de installatie en de omgeving binnen vooraf gestelde grenzen te houden.
Vermenigvuldigingsfactor	Factor die aangeeft hoeveel neutronen door kernsplijting vrijkomen door één ingevangen neutron veroorzaakte kernsplijting.
Verrijking	Het proces ter verhoging van de concentratie van het werkzame (b.v. splijtbaar) materiaal in een stof (b.v. splijtstof).
Verrijkingsgraad	Massapercentage splijtbaar materiaal in een splijtstof, meestal het gewichtsperscentage uranium-235 van de totale massa aan uranium in uranium splijtstof.
Verrijkt borium	Borium komt in de natuur voor als samenstel van twee (stabiele) isotopen B-10 en B-11, in de verhouding van 19,78 at.% tot 80,22 at.%. Voor reactiviteitbeheersing is het isotoop B-10 van belang. Om de effectiviteit van Borium, dat aan het hoofdkoelmiddel wordt toegevoegd te vergroten, kan het percentage B-10 worden verhoogd. Er is dan sprake van verrijkt borium. Bij inzet van MOX-splijstofelementen wordt het percentage B-10 verhoogd tot 32 gew.%. Wanneer er sprake is van toepassing van verrijkt boor bij KCB wordt derhalve het borium bedoeld met een B-10 percentage van tenminste 32 gew.%.
Versplijtingsgraad	Zie opbrand.
Vervalwarmte	De warmte die door verval van radioactieve splijtingsproducten vrijkomt nadat de reactor is afgeschakeld.
Zircaloy	Legering waarin onder meer het element zirkonium wordt toegepast.
Zwaar Metaal (Heavy Metal)	Hier: uranium, plutonium en americium.

1.3.2 Afkortingen

10EVA	10-jaarlijkse evaluatie
ACC	Alarmrespons Coördinatie Centrum
AKS	Anlagen Kennzeichnungs System
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
AM	Accident Management
ANVS	Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming
AOT	Allowable Outage Time
ARBO	Arbeidsomstandigheden
ASEP	Accident Sequence Evaluation Program
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ATWS	Anticipated Transient Without Scram
AVS	Algemeen Voorschriften Systeem
BETHY	Naam van rekenprogramma
Bkse	Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen
BOC	Bedrijfsvoering Ondersteuning Coördinatie
BOC	Begin Of Cycle
BRL	Beoordelingsrichtlijn
BRS	Bedrijfsmiddelenregistratiesysteem
BS	British Standard
BS12	Maam van een kolengestookte eenheid
BWR	Boiling Water Reactor
C	Civiele
CCB	Conventionele Centrale Borssele
CFD	Computational Fluid Dynamics
CHF	Critical Heat Flux
COBRA	Naam van rekenprogramma
COCO	Naam van rekenprogramma
COSYMA	Naam van rekenprogramma
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval
CSA	Complementary Safety margin Assessment
D&D	Decommissioning and Dismantling
DAF	Druck Abfall (daling van de secundaire druk)
DiD	Defense-in-Depth
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMS	Documentmanagementsysteem
DNA	Deoxyribonucleic Acid
DNB	Departure from Nucleate Boiling
DP	Dismanteling Phase
DWR	Druckwasserreaktor
E	Elektrisch
E&I	Elektrische systemen en instrumentatie
EHBO	Eerste Hulp Bij Ongelukken
EL&I	Economische zaken, Landbouw en Innovatie
EMRA	Naam voor een werkplaats
EMS	Europese Macroseismische Schaal
ENU	Enriched Natural Uranium
EOC	End of cycle
EOCnat	EOC-natuurlijk
EOP	Emergency Operating Procedures
EPZ	Elektriciteits-Productiemaatschappij Zuid-Nederland
ERBVC	Externe Reactor Bedrijfsveiligheidscommissie
ERU	Enriched Reprocessed Uranium
FAMOS	Fatigue Monitoring System

FAT	Factory Acceptance Tests
FHP	Functieherstelprocedure
FTO	Functietaakomschrijving
GSM	Global System for Mobile communications
HD	Hoofdafdichting
HKM	Hoofdkoelmiddel
HM	Heavy metal
HMI	Human Machine Interface
HP	Human Performance
HPES	Human Performance Enhancement System
IAC	Internal Arc Classification
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBS	Inbetriebsetzung (inbedrijfstelling)
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IMS	Integraal Management Systeem
INSAG	International Nuclear Safety Group
IPSART	International Probabilistic Safety Assessment Review Team
IPSO	Integrated Plant Status Overview
ISI	In-Service Inspection
ISO	International Standardisation Organisation
ITC	Isotherme koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt
KCB	Kernenergiecentrale Borssele
KEW	Kernenergiewet
KGA	Klein Gevaarlijk Afval
KMT	Koelmiddeltemperatuur
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KP01	Naam van kolenpark
KTA	Kerntechnische Ausschuss
KWU	Kraftwerk Union AG
LD	Nageschakelde mechanische afdichting
LMRA	Last Minute Risk Analysis
LOCA	Loss Of Coolant Accident
LPG	Liquefied Petroleum Gas
LPSA	Living PSA
MELCOR	Naam van rekenprogramma
MER	Mileueffectrapport
MMI	Modified Mercalli Intensity
MOX	Mixed Oxides
MSK	Medvedev, Sponheuer en Karnik
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NATO	North Atlantic Treaty Organisation
NBP	Noodbedieningsprocedure
NDO	Niet Destructief Onderzoek
NEN	Nederlandse Norm
NeR	Nederlandse emissierichtlijn
NRG	Nuclear Research Group
NVR	Nucleaire Veiligheidsregels en Richtlijnen
OBA	Ongevalsebestendige Apparatuur
ODM	Operational Decision Making
OM	Operation and Maintenance
ORIGEN	Naam van rekenprogramma
P&ID	Process and Instrumentation Diagram
PANBOX	Naam van rekenprogramma
PCB	Polychloorbifenyl
PGS	Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen

PI	Prestatie-Indicatoren
PIE	Postulated Initiating Event
PO	Post Operatieve
PPS	Proces Presentatie Systeem
PSA	Probabilistic Safety Assessment
PSM	Plant Security Management
PTR	Pool Test Reactor
PUMA	Pumpenausfall (hoofdcoelmiddelpompafschakeling)
PVC	Polyvinylchloride
PWR	Pressurized Water Reactor
PWROG	Pressurized Water Reactor Owners Group
PZEM	N.V. Provinciale Zeeuwse Energie-Maatschappij
QA	Quality Assurance
QC	Quality Control
Rboni	Regeling buitengebruikstelling en ontmanteling nucleaire inrichtingen
RBVC	Reactor Bedrijfsveiligheidscommissie
RCCM	Règles de Conception et de Construction des Matériels Mécaniques des Ilots Nucléaires PWR
REBA	Reactorbassin
RELAP5	Naam van rekenprogramma
RELEB	Reaktorleistungsbegrenzung (reactorvermogensbegrenzing)
RESA	Reaktorschnellabschaltung (reactorsnelafschakeling)
RI&E	Risico Inventarisatie en Evaluatie
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RVS	Roestvaststaal
SALTO	Safe Long Term Operation
SAM	Severe Accident Management
SAMG	Severe Accident Management Guidelines
SAT	Site Acceptance Tests
SB	Stralingsbescherming
SBO	Station Black Out
SC	Structuur en Component
SEL	Stahl-Eisen Lieferbedingung (ultrasoononderzoek)
SG	Stoomgenerator
SHARP	Systematic Human Action Reliability Procedure
SOB	Splijtstofopslagbassin
SOURCE	Naam van rekenprogramma
SSC	Structuren, Systemen en Componenten
STACKS	Naam voor verspreidingsmodel radioactieve stoffen
STAR	Stop Think Act Review
STEW	Steuerelementeinwurf (regelelementinwerpfunctie)
SW	Splijtstofwisselstop
SWG	Storingswerkgroep
TCDF	Total Core Damage Frequency
TIC	Technisch Informatiecentrum
TIP	Technisch Informatie Pakket
TO	Taakomschrijvingen Organisatie
TUSA	Turbinenschnellabschaltung (turbinesnelafschakeling)
VB91	Naam van een tijdelijke opslag van kolenreststoffen
VBP	Verouderingsbeheerprogramma
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker
VGB	Duits kennisinstituut
VOB	Verouderingsbeheer
VR	Veiligheidsrapport
VTH	Veiligheids Technische Handelingen
W	Werktuigkundige

WANO	World Association of Nuclear Operators
WAVCO	Naam van rekenprogramma
WENB	Werkgeversvereniging
WinNUCAP	Naam van rekenprogramma
ZM	Zwaar Metaal

1.3.3 Systeemcoderingen

De codering van de systemen en componenten van de kernenergiecentrale Borssele is gebaseerd op het AKS-coderingssysteem.

AT	Machinetransformator
BA, BB	6 kV-rails
BE	10 kV-hoofdrail KCB terrein
BF	10 kV-hoofdrail CCB terrein
BR	380 kV/6kV-transformator
BS	150 kV/6 kV-starttransformator
BT	21 kV/6 kV-eigenbedrijfstransformator
BU, BV	6 kV-noodstroomhoofdrails
CL, CM	400 V-noodstroomhoofdrails koelwaterinlaatgebouw
CN, CP	400 V-hoofdrails verlichting
CU, CV	400 V-noodstroomhoofdrails
CW, CX	400 V-hoofdrails reserve suppletiegebouw (33) (CW voor redundantie 1 en CX voor redundantie 2)
CY, CZ	400 V-rails ononderbroken voeding reserve suppletiegebouw (CY voor redundantie 1 en CZ voor redundantie 2)
DA, DB,DC, DD	400 V-noodstroomrails
DH	400 V-rails luchtverwarming machinegebouw
DZ	Verlichting
EA, EB	220 V-gelijkspanningshoofdrails
EC	220 V-gelijkspanningshoofdrails (regelstaafbesturing)
EE	220 V-gelijkspanningsbatterijen voor EA, EB, EC
EF	220 V-gelijkrichters voor EA, EB, EC
EH, EJ	24 V-gelijkspanningshoofdrails
EK	24 V-gelijkspanningsbatterijen
EL	24 V-gelijkrichters
EN, EP	400 V-hoofdrails ononderbroken voeding
ER	Roterende omvormers rails EM, EN en EP
EY	Noodstroomdieselaggregaten
FA, FB, FC, FD	24 V-gelijkspanningshoofdrail reserve suppletiegebouw (FA en FB voor redundantie 1, FC en FD voor redundantie 2)
FF	24 V-gelijkspanningsrail t.b.v. noodstroomdiesel EY040D001 reservesuppletiegebouw redundantie 1
FG	24 V-gelijkspanningsrail t.b.v. noodstroomdiesel EY050D001 reservesuppletiegebouw redundantie 2
FH, FJ	24 V-gelijkspanningsrails
FN, FP	400 V-rails ononderbroken voeding
MD	Omroep- en alarminstallatie
MF	Brandmeldinstallatie
MK	Gasdetectie- en ontsteeksysteem
PL	Splijststofwisselmachine
RA	Hoofdstoomsysteem
RL	Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem
RM	Hoofdcondensaatsysteem
RQ	Hulpstoomsysteem
RS	Secundair reserve suppletiesysteem

RY	Stoomgeneratorspuisysteem
RZ	Deminwatersuppletiesysteem
SA-SZ	Turbogenerator
SF	Turbine-omloopsysteem
TA	Volumeregelsysteem
TB	Nuclear chemicaliëndoseersysteem
TC	Koelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem
TD	Hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem
TE	Reserve nakoelsysteem
TF	Nuclear tussenkoelwatersysteem
TG	Splijtstofopslagbassinkoelsysteem
TJ	Kerninundatie- en nakoelsysteem
TL	Nuclear ventilatiesysteem
TM	Koelsysteem van het biologisch schild
TN 1-2	Deminwater verzorgingssysteem
TP 5-8	Persluchtsysteem
TR	Radioactief afvalwatersysteem
TS	Radioactief afgassysteem
TS-100	Passief waterstofrecombinatiesysteem
TT	Radioactief vast afvalstelsysteem
TV	Nuclear monsternamesysteem
TW	Primair reserve suppletiesysteem
TY	Installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem
TZ	Nuclear gebouwentwateringssysteem
UA	Deminwateraanmaaksysteem
UF	HD-brandblussysteem
UG	Brandblussysteem transformatoren
UJ	LD-brandblussysteem
UK	Bedrijfwatersysteem
US	Conventioneel persluchtsysteem
UQ	Kranen
UV	Koudwatersysteem
UW	Verwarmings- en ventilatiesysteem
UX	CO ₂ - en inergenblusinstallatie
VC	Hoofdkoelwatersysteem
VE	Reserve noodkoelwatersysteem
VF	Nood- en nevenkoelwatersysteem
VG	Conventioneel tussenkoelwatersysteem
XA	Veiligheidsomhulling
XB	Materiaalsluis
XC	Personensluis
XD	Noodsluis
XE	Montage-openingen
XF	Leidingdoorvoeringen
XG	Kabeldoorvoeringen
XH	Gebouwuitrusting
XP	Waterstofbeheersingssysteem
XQ	Ruimtestralingsmeetsysteem
XR	Personenstralingsmeetsysteem
XS	Omgevingsstralingsmeetsysteem
YA	Hoofdkoelmiddelleidingen
YB	Stoomgeneratoren
YC	Reactorvat
YD	Hoofdkoelmiddelpompen
YG	Geluiddetectiesysteem
YH	Binnenwerk reactorvat

YM	Splijtstofelementen
YP	Drukhoudsysteem
YQ	Kerninstrumentatie
YS	Regelementen
YX	Neutronenfluxdichtheidmeting buiten de kern
YZ	Reactorbeveiligingssysteem
ZB	Explosieluiken




































1.3.4 Eenheden

Aan- duiding	Benaming	Grootheid	Afleiding
A	Ampère	Elektrische stroomsterkte	Basiseenheid
a	jaar	Tijd	In het energiebedrijf normaal jaar: 1 a = 365 d = 8760 h
bar	bar	Druk*	1 bar = 105 N/m ²
Bq	Becquerel	Activiteit	1 Bq = 1/s
°C	graad Celcius	Temperatuur	$\Theta = T - 273,15$
d	dag	Tijd	1 d = 24 h = 1440 min
g	gram	Massa	$g = 10^{-3} \text{ kg}$
Gy	Gray	Geabsorbeerde dosis	1 Gy = 1 J/kg
h	uur	Tijd	1 h = 60 min = 3600 s
Hz	Hertz	Frequentie	1 Hz = 1/s
J	Joule	Energie, arbeid	1 J = 1 Nm = 1 VAs
K	Kelvin	Temperatuur	Basiseenheid
l	liter	Volume	1 l = 1 dm ³
m	meter	Lengte	Basiseenheid
min	minuut	Tijd	1 min = 60 s
N	Newton	Kracht	1 N = 1 kgm/s ²
Pa	Pascal	Druk*	1 Pa = 1 N/m ²
R	Röntgen	Exposie	1 R = 2,58 x 10 ⁻⁴ C/kg
Re	Radiotoxiciteitsequivalent voor inhalatie		Basiseenheid
s	seconde	Tijd	Basiseenheid
Sv	Sievert	Dosisequivalent	Basiseenheid
T	Kelvin	Temperatuur	Basiseenheid
V	Volt	Elektrische spanning	1 V = 1 W/A
VA	Voltampère	El. schijnbaar vermogen	1 V A = 1 W
W	Watt	Vermogen	1 W = 1 Nm/s











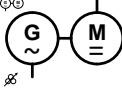















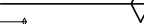


Combinatieteken	Voorvoegsel	Machtsexponent van 10
n	nano	10 ⁻⁹
μ	micro	10 ⁻⁶
m	milli	10 ⁻³
k	kilo	10 ³
M	mega	10 ⁶
G	giga	10 ⁹

*Alle drukken worden in dit veiligheidsrapport, mits anders vermeld, uitgedrukt in absolute druk.

1.3.5 Symbolen

Vloeistof, stroom of lucht		Enrichtingsventiel	
Gas		Generator	
Gasvormige splijtingsproducten, H ₂ , N ₂		Sluis	
Harspoelleiding		Pomp	
Terreinafscheiding		Centrifugaalpompe	
Flens		Centrifugaalpompe motorbediend	
	open dicht open/dicht*	Zuigerpompe motorbediend	
Afsluiter	  	Verdichter	
Afsluiter motorbediend		Verdichter motorbediend	
Afsluiter met zuigeraandrijving		Doorstroombegrenzer	
Afsluiter met electromagneet		Waterafscheider	
Terugslagklep		Turbine	 
Ventiel		Dieselmotor	
Ventiel motorbediend		Roerder	
Veerbelast ventiel*			
Veerbelast hoekventiel			
Hoekventiel met zuigeraandrijving			
Driewegventiel			
Driewegventiel motorbediend			

* Een half ingekleurde afsluiter geeft aan dat deze tijdens normaal bedrijf open of dicht kan zijn afhankelijk van de bedrijfstoestand.

Scheidingsschakelaar		Afsluiter (lucht)	
Vermogensschakelaar		Afsluiter motorbediend (lucht)	
Dieselaggregaat		Jaloesieklep	
AC-generator (3 fasen)		Jaloesieklep motorbediend	
AC-generator		Luchtfilter grof	
AC-generator en DC-motor		Luchtfilter fijn	
Eigenbedrijfs-transformator		Vloeistoffilter	
Transformator (2 wikkelingen)		Warmtewisselaar met kruizing van de stromen	 (door de geknikte lijn stroomt de warmteopnemende stof)
Starttransformator		Warmtewisselaar zonder kruizing van de stromen	 (door de geknikte lijn stroomt de warmteopnemende stof)
Spanningsbewaking		Stoomgenerator	 
Gelijkrichter		Geluidsdemper	
Accu		Luchtinlaat	
Elektrisch aansluitpunt		Scheidingsteken tussen systemen	
Aarde			
Gelijkrichter			

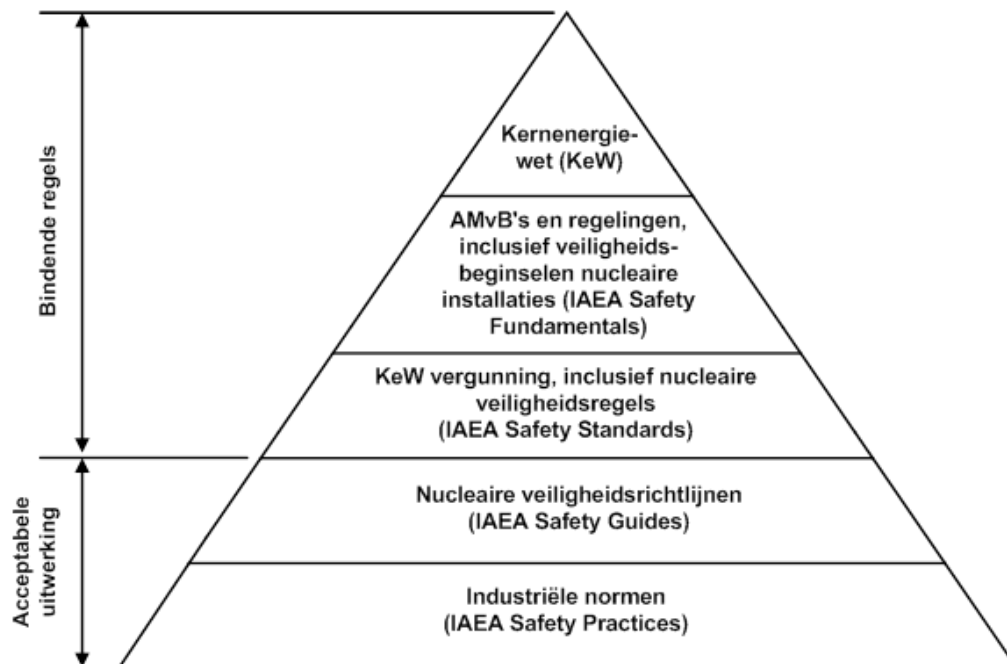
INHOUDSOPGAVE

2.	SAMENVATTING	2-2
2.1	NUCLEAIRE REGELGEVING NEDERLAND	2-2
2.2	SAMENVATTENDE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE EN LAYOUT	2-5
2.3	BEDRIJFSTOESTANDEN	2-12
	2.3.1 Inbedrijfname	2-12
	2.3.2 Vermogensbedrijf	2-13
	2.3.3 Uitbedrijfname	2-13
	2.3.4 Afschakelingen	2-13
2.4	DOCUMENTENSTRUCTUUR	2-14

2. SAMENVATTING

2.1 NUCLEAIRE REGELGEVING NEDERLAND

Het in Nederland geldende regelstelsel met betrekking tot het ontwerp, de bouw en de bedrijfsvoering van nucleaire installaties is schematisch in beeld gebracht in figuur 2.1/1.



Figuur 2.1/1 Nucleaire regelgeving in Nederland

De Nucleaire Veiligheidsregels beschrijven de hoofddoelstellingen en voorwaarden waaraan moet worden voldaan en de Nucleaire Veiligheidsrichtlijnen geven acceptabele manieren van uitvoering weer.

Er dient te worden voldaan aan het gestelde in de Nucleaire Veiligheidsregels en -richtlijnen, met uitzondering van NVR NS-R-1 en NS-G-1.1 t/m NS-G-1.13. Voor NVR NS-R-1 en NS-G-1.1 t/m NS-G-1.13 geldt dat aan het gestelde daarin voldaan dient te worden, tenzij dit redelijkerwijs niet kan worden verlangd.

De Nucleaire Veiligheidsregels zijn geamendeerde IAEA-Codes, te weten:

NVR.NS-R-1	Veiligheid van kernenergiecentrales: veiligheidseisen voor het ontwerp
NVR.NS-R-2	Veiligheid van kernenergiecentrales: veiligheidseisen voor de bedrijfsvoering
NVR.NS-R-3	Beoordeling van de vestigingsplaats voor kernenergiecentrales
NVR.GS-R-2	Gereedheid voor en bestrijding van een nucleaire of radiologische noodsituatie
NVR.GS-R-3	Het managementsysteem voor faciliteiten en activiteiten
NVR.GS-R-4	Veiligheidsbeoordeling voor faciliteiten en activiteiten

Tot de Nucleaire Veiligheidsrichtlijnen behoren de IAEA-Safety Guides. Deze Safety Guides geven acceptabele methoden aan hoe aspecten uit de Codes kunnen worden geïmplementeerd. De Safety Guides zijn voor de Nederlandse situatie bewerkt. Het betreft:

Voor ontwerp:

NVR NS-G-1.1	Programmatuur voor computergestuurde veiligheidsrelevante systemen voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.2	Veiligheidsbeoordeling en -verificatie voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.3	Veiligheidsrelevante meet- en regelsystemen voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.4	Ontwerp van splijtstofhantering en -opslag systemen in kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.5	Externe gebeurtenissen met uitzondering van aardbevingen in het ontwerp van kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.6	Seismisch ontwerp en kwalificatie voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.7	Bescherming tegen interne branden en explosies in het ontwerp van kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.8	Ontwerp van noodstroom systemen voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.9	Ontwerp van het reactor koel- en aanverwante systemen in kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.10	Ontwerp van reactor insluiting systemen voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.11	Bescherming tegen interne gevaren anders dan branden en explosies in het ontwerp van kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.12	Ontwerp van de reactor kern voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-1.13	Stralingsbescherming aspecten in het ontwerp voor kernenergiecentrales
NVR 2.1.1	Safety functions and component classification for BWR, PWR and PTR

Voor bedrijfsvoering:

NVR NS-G-2.1	Brandveiligheid in de bedrijfsvoering van kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.2	Bedrijfslimieten en –voorwaarden en bedrijfsvoeringsprocedures voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.3	Wijzigingen aan kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.4	De bedrijfsvoeringsorganisatie voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.5	Beheer van de kern en splijtstof hantering voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.6	Onderhoud, toezicht en in-service inspecties in kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.7	Straling bescherming en radioactief afval tijdens het bedrijven van kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.8	Werving, kwalificatie en training van personeel voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.9	Inbedrijfstelling voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.10	Periodieke veiligheidsbeoordeling voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.11	Een systeem voor de terugkoppeling van ervaringen van gebeurtenissen in nucleaire installaties
NVR NS-G-2.12	Verouderingsbeheer voor kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.13	Beoordeling van seismische veiligheid voor bestaande nucleaire installaties
NVR NS-G-2.14	Bedrijfsvoering van kernenergiecentrales
NVR NS-G-2.15	Beheer van zware ongevallen voor kernenergiecentrales

NVR 3.2.1 Voorschriften Opleiding van bedieningspersoneel van Kernenergiecentrales

Voor beoordeling van de vestigingsplaats:

- NVR NS-G-3.1 Externe door de mens veroorzaakte gebeurtenissen bij de beoordeling van de vestigingsplaats voor kernenergiecentrales
- NVR NS-G-3.2 Verspreiding van radioactieve stoffen in lucht en water en beschouwing van de verdeling van de bevolking bij de beoordeling van de vestigingsplaats voor kernenergiecentrales
- NVR NS-G-3.3 Beoordeling van seismische gebeurtenissen van invloed op de veiligheid van kernenergiecentrales
- NVR NS-G-3.4 Meteorologische gebeurtenissen bij de beoordeling van de vestigingsplaats voor kernenergiecentrales
- NVR NS-G-3.5 Beoordeling van overstromingsgevaar voor kernenergiecentrales met vestigingsplaats aan de kust of aan een rivier
- NVR NS-G-3.6 Geotechnische aspecten bij de beoordeling van de vestigingsplaats en funderingen voor kernenergiecentrales

Voor nucleaire of radiologische noodsituaties:

- NVR GS-G-2.1 Voorbereiding voor de gereedheid voor en bestrijding van een nucleaire of radiologische noodsituatie

Voor het managementsysteem:

- NVR GS-G-3.1 Toepassing van het managementsysteem voor faciliteiten en activiteiten
- NVR GS-G-3.5 Het managementsysteem van nucleaire installaties

Voor veiligheidsbeoordeling:

- NVR GS-G-4.1 Vorm en inhoud van het veiligheidsrapport voor kernenergiecentrales
- NVR SSG-2 Deterministische veiligheidsanalyse voor kernenergiecentrales
- NVR SSG-3 Ontwikkeling en toepassing van niveau 1 probabilistische veiligheidsanalyse voor kernenergiecentrales
- NVR SSG-4 Ontwikkeling en toepassing van niveau 2 probabilistische veiligheidsanalyse voor kernenergiecentrales
- NVR SSG-9 Seismische gevaren bij de beoordeling van de vestigingsplaats voor nucleaire installaties

De "industriële normen" zijn met name de normen en voorschriften van het Nederlands Normalisatie Instituut of vergelijkbare buitenlandse instanties, dus NEN, DIN, BS, IAC, KTA, RCCM, ASME etc. Ook contractafspraken worden tot deze categorie gerekend.

2.2 SAMENVATTENDE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE EN LAYOUT

De kernenergiecentrale Borssele is een licht-water/drukwaterreactor met een thermisch vermogen van 1.365,6 MW en een netto elektrisch vermogen van globaal 480 MW, zie tabel 2.2/1. De reactor en belangrijke delen van de reactorinstallatie zijn in een stalen veiligheidsomhulling geplaatst. Deze stalen omhulling wordt omsloten door een tweede omhulling van gewapend beton.

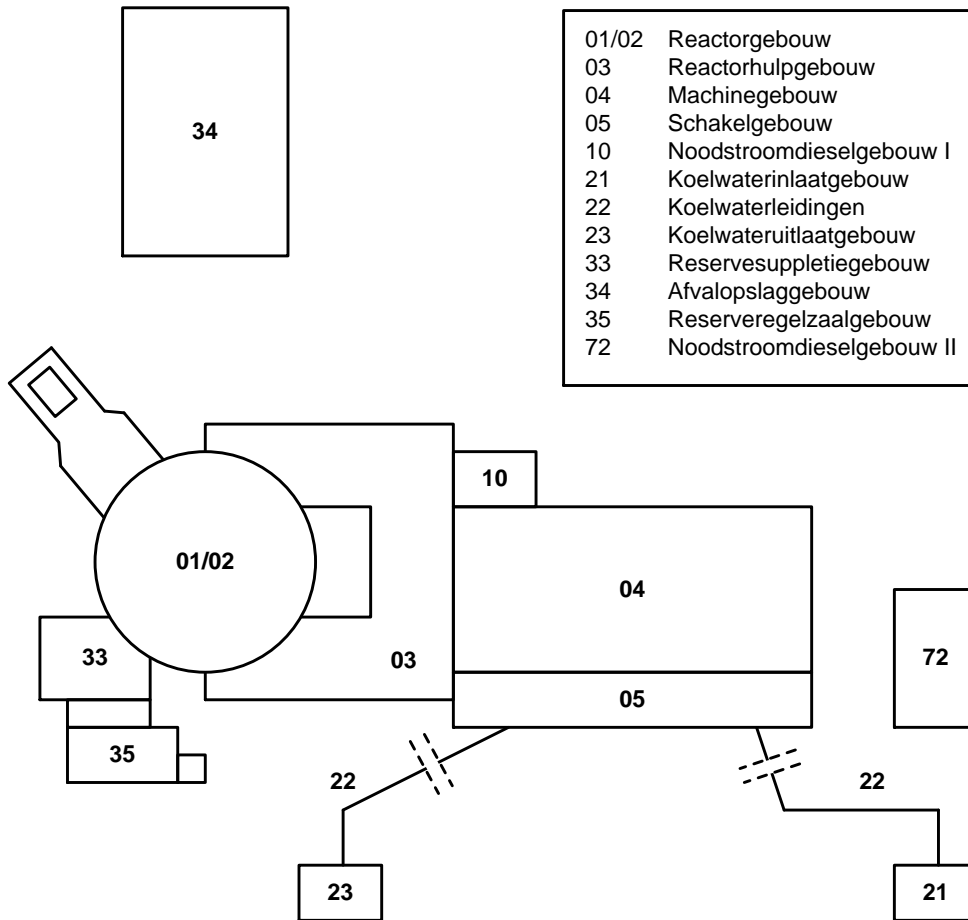
Tabel 2.2/1 Karakteristieke nominale gegevens van de kernenergiecentrale

Netto elektrisch vermogen	488	MW
Vermogen aan de generatorklemmen	515	MW
Eigenbedrijf	27	MW
Aan de secundaire kringloop overgedragen		
- thermisch vermogen	1370	MW
- netto rendement	35,0	%
Thermisch vermogen van de reactor	1365,6	MW
Systeemdruk in het reactorkoelsysteem (absoluut)	155	bar
Aantal hoofdkoelmiddelkringlopen	2	
Aantal splijstofelementen	121	

De locatie van de kernenergiecentrale bevindt zich 1,4 km ten noordwesten van het dorp Borssele in de gemeente Borsele, achter de zeedijk langs de Westerschelde op het terrein van de N.V. EPZ.

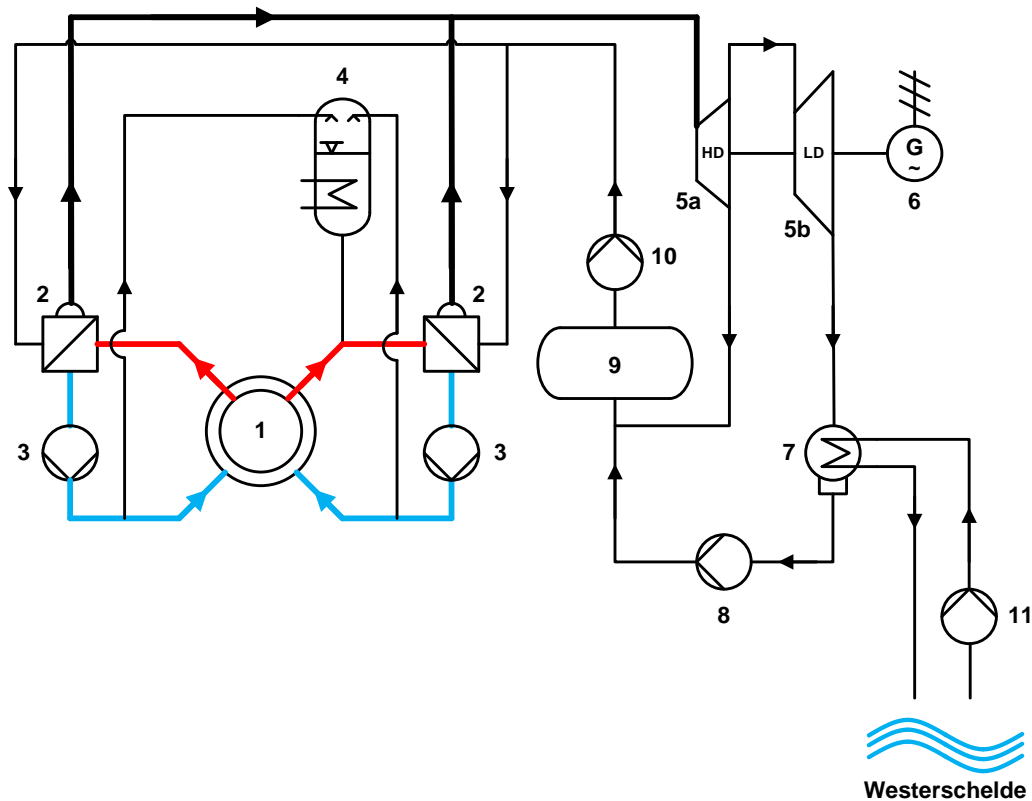
Tot de kernenergiecentrale behoren voornamelijk de volgende gebouwen (zie figuur 2.2/1), waarin alle voorzieningen zijn ondergebracht die nodig zijn voor het bedrijven van de installatie:

- het reactorgebouw met veiligheidsomhulling en ringruimte (01/02);
- het reactorhulpgebouw (03);
- het reservesuppletiegebouw (33);
- het reserveregelzaalgebouw (35);
- de noodstroomdieselgebouwen I en II (10/72);
- het machinegebouw (04);
- het schakelgebouw met de centrale regelzaal (05);
- het afvalopslaggebouw (34);
- de koelwaterinlaat- en -uitlaatgebouwen met leidingen (21/22/23).



Figuur 2.2/1 Belangrijke gebouwen, - overzichtschem -

De complete drukwaterreactorinstallatie wordt gevormd door de reactor met het reactorkoelsysteem (primaïr systeem), het conventionele deel (secundair systeem, zie figuur 2.2/2) en de benodigde elektrotechnische installaties (zie figuur 2.2/3).



Primair systeem	Secundair systeem
1 Reactorvat	5a Hoge druk turbine
2 Stoomgenerator	5b Lage druk turbine (3x)
3 Hoofdkoelmiddelpomp	6 Generator
4 Drukhouder	7 Condensor (3x)
	8 Hoofdcondensaatpomp (3x)
	9 Voedingswatertank
	10 Hoofdvoedingswaterpomp (3x)
	11 Hoofdkoelwaterpomp (3x)

Figuur 2.2/2 Gehele installatie, - overzichtschema -

De warmte die in de reactor kern in het reactorvat wordt opgewekt, wordt via de twee hoofdkoelmiddelkringlopen afgevoerd naar de stoomgeneratoren.

Als warmtetransportmedium fungeert gedemineraliseerd, ontgast en boorzuurhoudend water, dat door de hoofdkoelmiddelpompen in de kringlopen tussen reactorvat en stoomgeneratoren wordt rondgepompt.

De reactor kern bestaat uit een roosterconstructie van 121 splijtstofelementen. Er zijn 28 regelelementen gelijkmatig over de reactor kern verdeeld.

Tijdens het vermogensbedrijf bevinden de regelementen zich in het bovenste gedeelte van de reactorkern. Wanneer de stroomvoorziening van de regelementen uitvalt of wordt uitgeschakeld, vallen de regelementen door de werking van de zwaartekracht in de reactorkern en schakelt de reactor af.

Als splijststof dient licht verrijkt uraniumdioxide of mengoxide in tabletvorm. De tabletten bevinden zich in zircaloy-hulzen, die aan de uiteinden met kappen zijn dichtgelast (splijststofstaaf). De splijststofstaven worden in bundels gegroepeerd en vormen samen met afstandhouders, regelementgeleidingsbuizen en twee doosvormige eindstukken (kop en voet) een splijststofelement.

De reactorkern is ondergebracht in het reactorvat. Via twee inlaatstompen komt het hoofdkoelmiddel in het reactorvat terecht, stroomt van onder naar boven door de reactorkern waar het door het ontwikkelde vermogen wordt opgewarmd en wordt door twee uitlaatstompen teruggevoerd in de hoofdkoelmiddelkringlopen.

Elk van de twee hoofdkoelmiddelkringlopen van het reactorkoelsysteem bestaat uit een stoomgenerator, een circulatiepomp en de verbindende pijpleidingen. Het drukhoudsysteem is op één van de twee hoofdkoelmiddelkringlopen aangesloten en zorgt ervoor, dat de optredende druk- en volumevariaties van het hoofdkoelmiddel gecompenseerd worden.

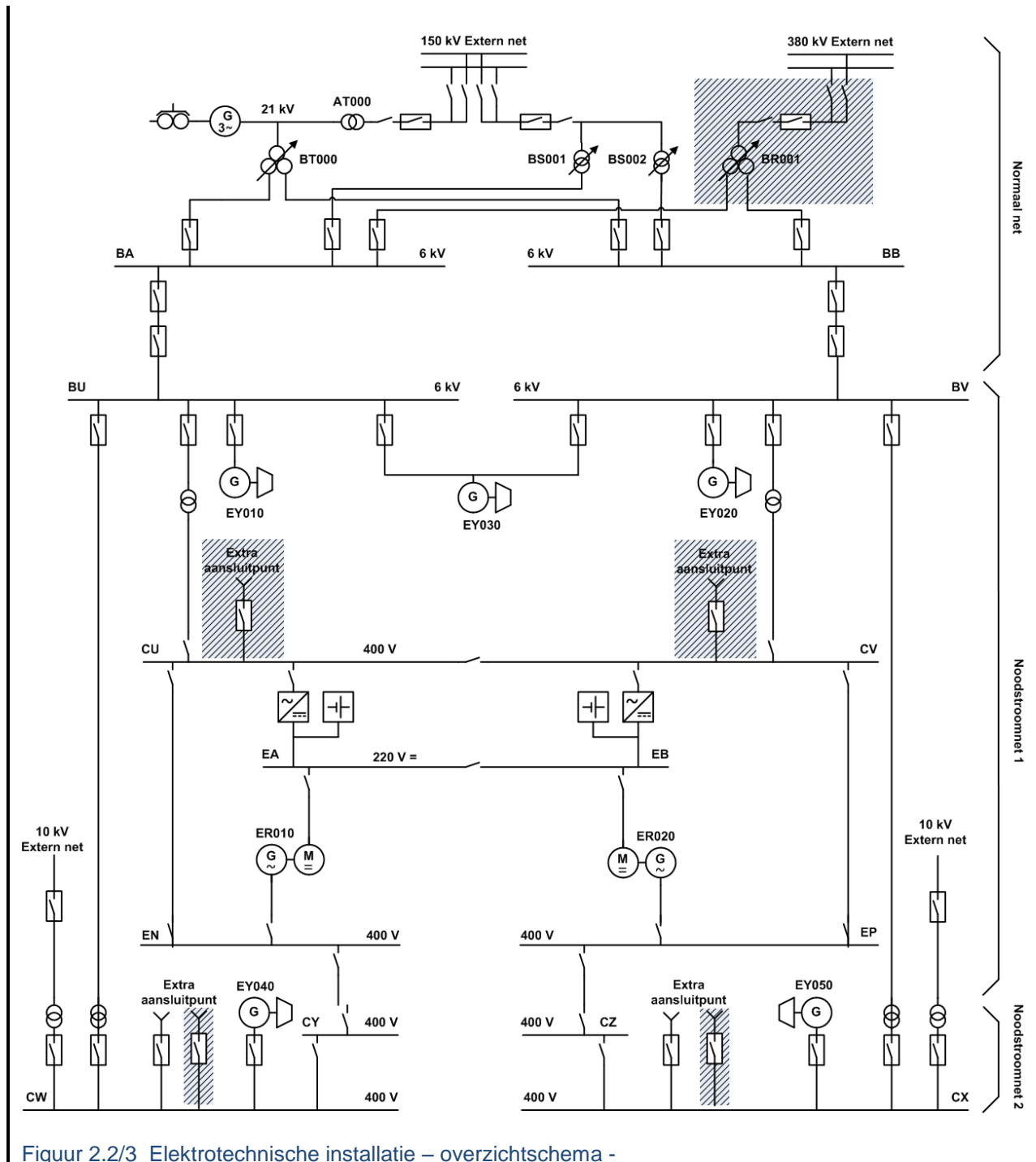
De stoomgeneratoren verzorgen de warmte-overdracht van de gesloten hoofdkoelmiddelkringlopen (primaire systeem) naar het conventionele deel van de installatie (secundaire systeem).

Met behulp van de hoofdvoedingswaterpompen in het secundaire systeem wordt het voedingswater aan de stoomgeneratoren toegevoerd, alwaar het aan de kook wordt gebracht en omgezet in stoom.

De verzadigde stoom van de stoomgeneratoren expandeert in een condensatie-turbine, waardoor mechanische energie ontstaat. De turbine drijft de draaistroomgenerator aan, waarin de mechanische energie omgezet wordt in elektrische energie.

De uitlaatstoom van de turbine condenseert in drie condensors, die met water uit de Westerschelde worden gekoeld. De condensors zijn bovendien zodanig ontworpen dat in geval van afschakeling van de turbogeneratorgroep bij vol vermogen, de totale hoeveelheid warmte die door de reactor geproduceerd wordt afgevoerd kan worden. Vanaf de condensors wordt het condensaat door middel van de hoofdcondensaatpompen aan de voedingswatertank toegevoerd. Vervolgens voeren de hoofdvoedingswaterpompen het voedingswater weer terug naar de stoomgeneratoren.

Tijdens vermogensbedrijf van de installatie voedt de generator via de nettransformator (AT000) het 150 kV-net (zie figuur 2.2/3).



Figuur 2.2/3 Elektrotechnische installatie – overzichtschema -

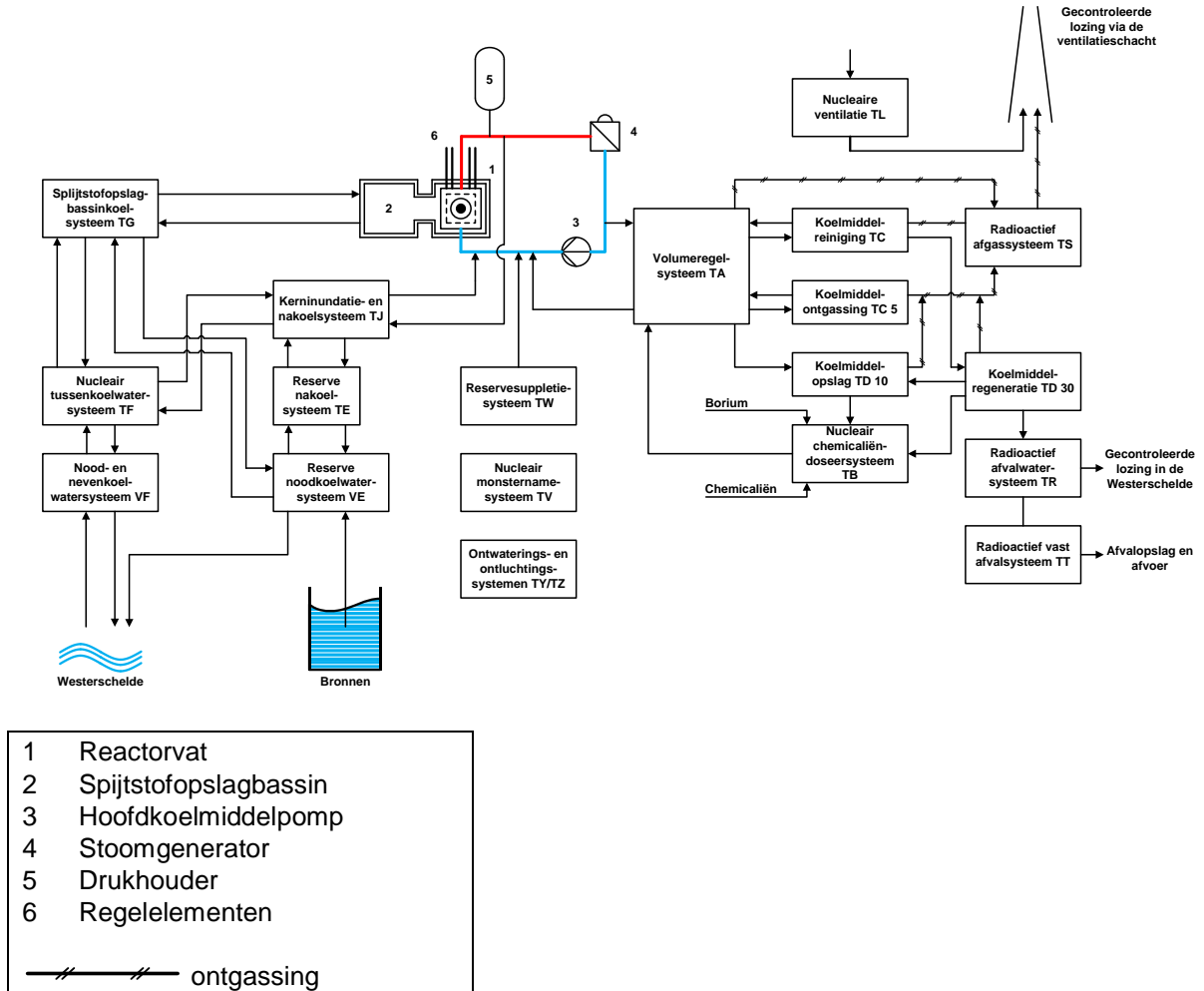
De stroomvoorziening voor het eigenbedrijf van de installatie vindt plaats door middel van de 6 kV-eigenbedrijfstransformator (BT), via twee gescheiden voedingsstrangen (BA/BB respectievelijk BU/BV). Afhankelijk van de veiligheidstechnische betekenis van de aangesloten verbruikers zijn deze opgesplitst over beide strangen en dienovereenkomstig van extra voedingsmogelijkheden voorzien.

Hierbij wordt, wanneer de generator niet in bedrijf is, in eerste instantie uitgegaan van voeding door het 150 kV-net, ofwel van voeding onafhankelijk van dit net door toevoer van energie vanuit ~~de nabijgelegen kolen-/gasgestookte centrale (CCB) het 380 kV-net~~. Wanneer externe voeding niet beschikbaar is, worden alle verbruikers die voor het veilig uit bedrijf nemen van de installatie nodig zijn, strangsgewijs via het noodstroomnet 1 door noodstroomdieselaggregaten gevoed. Indien één van beide strangsgewijs gekoppelde noodstroomdieselaggregaten (EY010, EY020) uitvalt, staat een alternatief in te schakelen reserve noodstroomdieselaggregaat (EY030) ter beschikking. Onafhankelijk van deze voorziening bestaat er nog het noodstroomnet 2, dat via een extern 10 kV-net of strangsgewijs door twee eigen noodstroomdieselaggregaten wordt gevoed.

Voor het bedrijven van de reactor en het reactorkoelsysteem zijn verschillende processystemen nodig, onder andere ten behoeve van:

- het gebruik en de behandeling van het hoofdkoelmiddel (debietregeling, opslag, reiniging, toevoeging van en controle op additieven etc.);
- de afvoer van de restwarmte uit het reactorkoelsysteem en uit het splijtstofopslagbassin;
- de afschakelbeveiliging van de reactor door middel van het systeem voor snelle afschakeling en het systeem voor extra toediening van borium;
- het gecontroleerd afvoeren van ventilatielucht uit het gecontroleerd gebied.

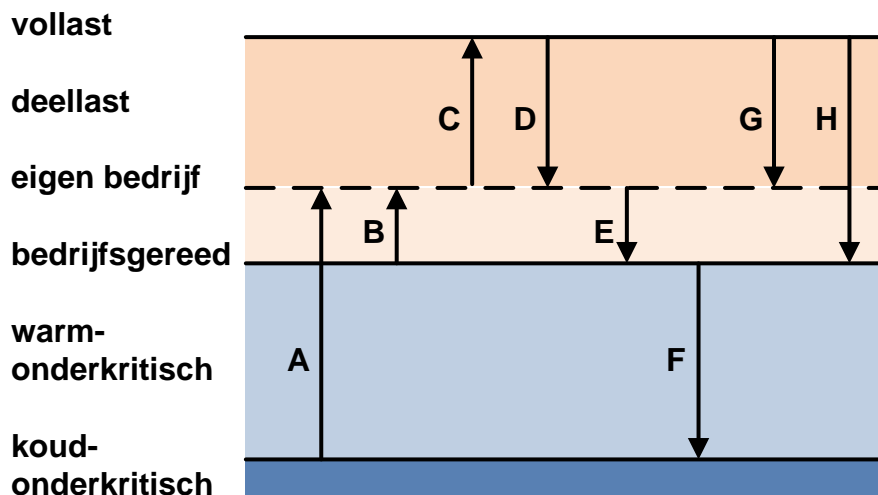
Een schematisch overzicht alsook de samenhang tussen de belangrijke systemen wordt in figuur 2.2/4 weergegeven.



Figuur 2.2/4 Nucleaire bedrijfssystemen, -overzichtsschema-

2.3 BEDRIJFSTOESTANDEN

De normale bedrijfsvoering van de installatie is afgestemd op de eisen die een modern elektriciteitsnet stelt aan de daarin opgenomen productie-eenheden. De kernenergiecentrale Borssele kan in basislast eventueel met dag/nacht cycli tussen 100% en 60% bedreven worden, maar ook snelle belastingvariaties zijn mogelijk. In figuur 2.3/1 zijn de voorkomende bedrijfstoestanden en onderlinge overgangen schematisch weergegeven.



Figuur 2.3/1 Bedrijfstoestanden met overgangen

De bedrijfstoestanden worden als volgt gecategoriseerd:

- Inbedrijfname;
 - o opstarten vanuit de koud-onderkritische toestand (A);
 - o opstarten van uit de warm-onderkritische toestand (B);
- vermogensbedrijf;
 - o vermogenstoename (C);
 - o vermogensafname (D);
- uitbedrijfname;
 - o uitbedrijfname naar warm-onderkritisch (E);
 - o afkoelen en nakoelen (F);
- afschakelingen;
 - o snelle reactorvermogensvermindering (G);
 - o reactorsnelafschakeling (H).

2.3.1 Inbedrijfname

Na een langere stilstandperiode zoals bij splijtstofwisseling bevindt de hele installatie zich in koude toestand. De hoofdkoelmiddelkringloop is dan drukloos en heeft een temperatuur van circa 50 °C. Het opstarten vanuit de koud-onderkritische toestand vindt plaats in vier stappen:

- vullen en ontluichten van het primair systeem;
- verwarmen van het primair en het secundair systeem;
- kritisch maken van de reactorkern en vergroten van het reactorvermogen;
- op toeren brengen van de turbo-generator.

2.3.2 Vermogensbedrijf

Het vergroten van het vermogen volgt op het hiervoor beschreven opstarten. Het turbinevermogen wordt opgevoerd afhankelijk van het gewenste elektrisch vermogen. Het reactorvermogen wordt vervolgens eveneens opgevoerd. Naarmate het reactorvermogen toeneemt, wordt het temperatuurverschil tussen het primaire en het secundaire systeem groter. Wanneer het gewenste vermogen is bereikt is de fase van vermogenstoename beëindigd. De installatie wordt dan stationair in vollast of deellast bedreven.

2.3.3 Uitbedrijfname

Een geplande uitbedrijfname verloopt in drie stappen:

- vermogensafname tot nullastniveau;
- warm-onderkritisch maken;
- koud-onderkritisch maken en houden.

De installatie wordt in de toestand warm-onderkritisch gebracht voor een korte stilstand of reparaties waarbij het primair systeem niet geopend hoeft te worden. De toestand onderkritisch, koud en drukloos wordt bereikt in het geval van een langere stilstand (bijvoorbeeld een splijststofwisselperiode), reparaties waarbij het primair systeem geopend moet worden of bij langdurige uitval van de condensoren.

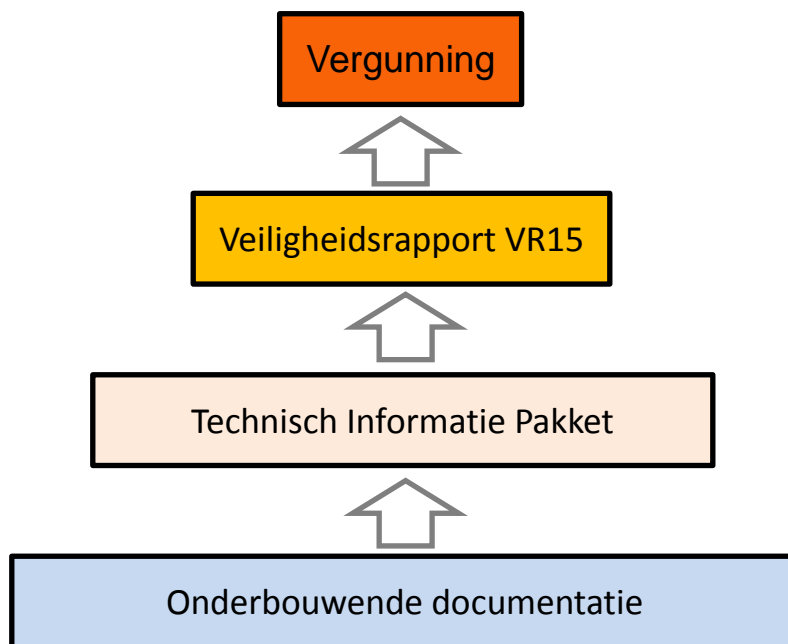
2.3.4 Afschakelingen

In hoofdzaak kunnen zich drie situaties voordoen die elk tot een verschillende vorm van afschakeling aanleiding geven:

- storing in het elektriciteitsnet;
- storing aan de turbine;
- reactorsnelafschakeling.

2.4 DOCUMENTENSTRUCTUUR

In figuur 2.4/1 is de structuur weergegeven van de opbouw van de documentatie waarmee de nucleaire veiligheid van de kernenergiecentrale Borssele wordt onderbouwd.



Figuur 2.4/1 Documentenstructuur

Het veiligheidsrapport VR15 bevat een beschrijving van de installatie van de KCB alsmede een beschrijving van de genomen maatregelen ter bescherming van mensen, dieren, planten en goederen. Hierin zijn zowel maatregelen ter voorkoming van gevaar, schade of hinder tijdens normaal bedrijf begrepen, als beschermende maatregelen tegen gevaren die voortvloeien uit redelijkerwijs mogelijk te achten ongevallen die een radiologische besmetting van de omgeving tot gevolg zouden kunnen hebben.

Het veiligheidsrapport VR15 beoogt een breed publiek de mogelijkheid te bieden zich inzicht te verschaffen in de werking en veiligheid van de installatie. Daarnaast vormt het een belangrijke basis voor de beschrijving en onderbouwing van de bestaande installatie c.q. veiligheidsbeoordeling door de overheid in het kader van vergunningsverlening.

De informatie in het veiligheidsrapport VR15 is gebaseerd op de onderliggende informatie opgenomen in het Technisch Informatie Pakket (TIP). Het TIP geeft in veel grotere mate van detail een beschrijving van de installatie en de genomen maatregelen, en omvat de gegevens omtrent de achtergrond en de basis waarop de conclusies van het veiligheidsrapport VR15 berusten. In het TIP wordt veelal weer verwezen naar onderliggende documenten, zoals tekeningen, analyses, materiaalcertificaten, FATs (Factory Acceptance Tests), SATs (Site Acceptance Tests) en IBS (Inbetriebsetzung)-rapporten.

Het TIP is zodanig ingericht dat daarmee invulling wordt gegeven aan de NVR GS-G-4.1 "Vorm en inhoud van het veiligheidsrapport voor kernenergiecentrales". Dit geldt eveneens voor de indeling van het veiligheidsrapport VR15, maar daar geldt de restrictie dat het voor wat betreft de

inhoud een breed toegankelijk publieksdocument moet zijn en dat het geen vertrouwelijke informatie mag bevatten.

INHOUDSOPGAVE

3.	VEILIGHEID EN ORGANISATIE	3-2
3.1	ORGANISATIE VAN VEILIGHEIDSPROCESSEN	3-2
3.1.1	Inleiding.....	3-2
3.1.2	Organisatiestructuur.....	3-2
3.1.3	Installatie	3-3
3.1.4	Integraal managementsysteem	3-4
3.1.5	Personeel.....	3-5
3.1.6	Veiligheidscultuur.....	3-5
3.2	VEILIGHEIDSCULTUUR	3-6
3.2.1	Beleid en strategie	3-7
3.2.2	Vaststellen managementverwachtingen	3-8
3.2.3	Trainen en opleiden	3-8
3.2.4	Coaching.....	3-8
3.2.5	Werkplekbezoeken	3-8
3.2.6	Toezicht.....	3-8
3.2.7	Evaluatie	3-9
3.3	KWALITEITSMANAGEMENT	3-10
3.3.1	Inleiding.....	3-10
3.3.2	Kwaliteitsmanagement bij het ontwerp en de bouw	3-10
3.3.3	Kwaliteitsmanagementsysteem	3-11
3.3.3.1	Handboek IMS	3-12
3.3.3.2	Bedrijfsprocessen	3-12
3.3.3.3	Deelprocessen (Uitvoeringsprocedures)	3-15
3.3.3.4	Werkdocumenten.....	3-15
3.3.4	Kwaliteitsmanagement bij grote wijzigingsprojecten	3-16
3.3.5	Audits	3-16
3.3.5.1	Interne audits	3-16
3.3.5.2	Externe audits	3-17
3.3.5.3	Derde partij audits.....	3-17

3. VEILIGHEID EN ORGANISATIE

3.1 ORGANISATIE VAN VEILIGHEIDSPROCESSEN

3.1.1 Inleiding

De exploitant van de Kernenergiecentrale Borssele (EPZ) heeft zich ten doel gesteld op een veilige en efficiënte wijze elektriciteit te produceren met behulp van kernenergie. Hiertoe is voor alle operationele bedrijfssituaties (normaal bedrijf, storingen, noodsituaties) beschikbaar:

- een geschikte organisatiestructuur;
- een veilige installatie;
- een Integraal Management Systeem;
- voldoende deskundig personeel;
- een gewenste veiligheidscultuur.

Aan deze aspecten ligt een passend veiligheidsbeleid ten grondslag wat met name verwoord is in de Beleidsnota Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming. Dit beleid wordt jaarlijks omgezet in concrete doelen en bijbehorende verbetermaatregelen via het jaarlijkse Bedrijfsplan EPZ.

In paragraaf 3.1 wordt toegelicht hoe deze aspecten zijn georganiseerd en gezamenlijk bijdragen aan de veiligheid van de KCB.

3.1.2 Organisatiestructuur

De Kernenergiecentrale Borssele (KCB) wordt geëxploiteerd door de N.V. Elektriciteitsproductiemaatschappij Zuid-Nederland (NV EPZ). Naast de kernenergiecentrale is EPZ ook de bedrijfsvoerder van een kolencentrale waarvan de elektriciteitsproductie met steenkolen als brandstof per 1 januari 2016 wordt beëindigd en een windturbinepark.

Organisatiestructuren zijn aan verandering onderhevig, vandaar dat op deze plaats wordt doorverwezen naar het actuele Organogram dat op het intranet van EPZ beschikbaar is. In algemene zin wordt bij de (her)inrichting van de EPZ-organisatie verzekerd dat de veiligheidsrelevante verantwoordelijkheidsgebieden:

- nucleair veiligheidsmanagement;
- stralingsbescherming (algemeen coördinerend stralingsdeskundige in de zin der Kernenergiewet);
- kwaliteitsmanagement;
- beveiliging (Plant Security Management (PSM));
- ontwerpbeheer;
- in-service-inspectie

nauw betrokken zijn bij de operationele besluitvorming maar daar hiërarchisch voldoende onafhankelijk van zijn om de veiligheid te waarborgen (lees: functiescheiding). Voor zover de organisatorische inhangig dat nodig maakt hebben functionarissen die bovengenoemde functies bekleden de bevoegdheid zich rechtstreeks tot de directie te wenden.

Bij de oorspronkelijke inrichting en bij een herinrichting van de EPZ-organisatie wordt uitgegaan van alle noodzakelijke functies om veilig bedrijf te voeren. Ongeacht of EPZ diensten zelf uitvoert of uitbesteedt, zal zij altijd voldoende kennis in huis hebben om deze diensten te specificeren en te beoordelen of er ook geleverd is volgens die specificaties.

Voor iedere organisatorische eenheid zijn Taakomschrijvingen Organisatie (TO's) beschikbaar. Voor iedere functie zijn Functietaakomschrijvingen (FTO's) beschikbaar. Het vaststellen van de Functietaakomschrijvingen gebeurt centraal om consistentie en volledigheid te waarborgen.

Overlegorganen die geraadpleegd worden voor zaken die de nucleaire veiligheid aangaan zijn beschreven in Vergaderreglementen. Hierin worden onder andere hun functie, samenstelling en wijze van verslaglegging bepaald. Het hoogste interne orgaan op het gebied van nucleaire veiligheid is de Reactor BedrijfsVeiligheidsCommissie (RBVC). Zij adviseert het plantmanagement omtrent de nucleaire veiligheid inclusief de stralingsbescherming. De externe tegenhanger ervan, de ERBVC, beoordeelt de effectiviteit van de RBVC en de gehele organisatie en adviseert de directie van EPZ. Leden van de ERBVC zijn afkomstig uit de energiewereld, de nucleaire industrie en de wetenschap.

Enkele andere reguliere overlegorganen zijn:

- dagelijkse Storingsvergadering;
- periodiek S(Stralingsbescherming)-overleg met betrekking tot beleid en effectiviteit t.a.v. de stralingsbescherming;
- wijzigingscommissie die de volledigheid en juistheid van wijzigingsplannen beoordeelt.

Een voorbeeld van een incidenteel overleg is het Operational Decision Making (ODM-) overleg. Dit formele overleg wordt gehouden in het geval van een afwijkende, niet geanalyseerde situatie waarbij tijd is voor overleg (anders wordt direct naar een veiliger bedrijfstoestand gegaan). Overigens wordt het fenomeen ODM, ofwel het principe van conservatieve besluitvorming, ook toegepast bij keuzes binnen de dagelijkse operationele vraagstukken.

In noodsituaties wordt de alarmresponsorganisatie (zie verder in paragrafen 12.1, 12.2 en 12.3) geactiveerd. Deze heeft een commandostructuur inclusief duidelijk rol- en taakverdeling die loopt van de wachtingenieur, via de Site Emergency Director tot aan de bedrijfsdirecteur. Een en ander conform de Technische Specificaties.

Bij de inrichting van de alarmresponsorganisatie is het uitgangspunt dat functionarissen die hiervan deel uitmaken zoveel als mogelijk eenzelfde rol vervullen als die zij ook in de reguliere organisatie vervullen.

Elke organisatiewijziging met betrekking tot de KCB wordt vooraf getoetst tegen de vergunningsvoorschriften, de Technische Specificaties en de Nucleaire Veiligheidsregels (NVR's). Ook wordt een relevante organisatiewijziging pas geïmplementeerd nadat het toezichthoudend gezag formeel heeft verklaard hiertegen geen bezwaar te hebben.

In paragraaf 9.1 e.v. wordt waar nodig per Hoofdproces een nadere beschrijving van de organisatie gegeven. Verder zijn details over de organisatie te vinden in de Technische Specificaties.

3.1.3 Installatie

Het uitgangspunt voor een veilige installatie is een op veiligheid gericht ontwerp. De installatie van de KCB is gebouwd op basis van een goedgekeurd ontwerp door gekwalificeerde, ervaren fabrikanten. In paragraaf 3.3 is de kwaliteitszorg beschreven voorafgaand aan en tijdens de bouw en aansluitende inbedrijfsstelling. In paragraaf 5.1 worden de algemene ontwerpprincipes uiteengezet die ten grondslag hebben gelegen aan het uiteindelijke ontwerp en in paragraaf 11.3 worden de in het ontwerp geïntegreerde stralingsbeschermingsvoorzieningen beschreven.

Sindsdien is de installatie binnen de grenzen van de ontwerpuitgangspunten, de leveranciersvoorschriften en de Nucleaire Veiligheidsregels in stand gehouden. Hiervoor zijn Instandhoudingsprogramma's (zie paragraaf 9.2) in werking die met name in overeenstemming zijn met de NS-G-2.4. Wijzigingen van de installatie en van de Instandhoudingsprogramma's zijn ingegeven door ervaringen opgedaan tijdens de bedrijfsvoering met de KCB, waaronder analyses van voorgevallen veiligheidsrelevante storingen. Ook ervaring en expertise van de oorspronkelijke bouwer van de centrale (AREVA), vooraanstaande bedrijven (Westinghouse) en kennisinstituten (VGB, Duitsland) ondersteunen de operationele afdelingen.

Het gebruikmaken van deze zogenaamde 'Operational Experience' (zie paragraaf 9.8) is goede praktijk in de nucleaire wereld.

In 1982 is naar aanleiding van het ongeval bij de kerncentrale in Harrisburg (1979) de installatie geëvalueerd hetgeen heeft geleid tot een moderniseringsprogramma. Sinds 1993 is overeenkomstig de vergunning het ontwerp en de toestand van de KCB elke 10 jaar onderwerp geweest van een uitgebreide evaluatie. Hierbij wordt gebruik gemaakt van veiligheidsanalyses uitgevoerd door gerenommeerde internationale onderzoeksinstituten en marktleidende fabrikanten van kerncentrales. Elke 10 jaar leidde dit tot een groot aantal veiligheidsverhogende maatregelen.

De as-built toestand van de installatie is vastgelegd in een stelsel van configuratiedocumenten (zie paragraaf 9.9). Elke wijziging van de installatie leidt tot aanpassing van de relevante configuratiedocumenten.

3.1.4 Integraal managementsysteem

Een veilige installatie blijft mede veilig wanneer hiermee bedrijf gevoerd wordt overeenkomstig een volledig stelsel van gevalideerde procedures, instructies en configuratie-beschrijvende documenten (zie paragraaf 9.9).

Het Integraal Management Systeem (IMS) (zie verder paragraaf 3.3) bevat procedures en instructies voor alle veiligheidsrelevante processen die volgens de NVR's beheerst moeten zijn. Op hoofdlijn komt dat neer op de vaststelling van beleid, het vertalen van dit beleid in concrete (eenmalige en wederkerende) programma's, de vaststelling en bijstelling van prestatie-indicatoren, de beheersing van de uitvoering, de voortgangsbewaking, de evaluatie en eventueel de noodzakelijke bijsturing (vergelijk: continu verbeter cyclus) (zie paragraaf 3.3).

De procedures en instructies en de omvangrijke set configuratie-beschrijvende documenten zijn opgenomen en actueel beschikbaar in het EPZ-brede documentmanagementsysteem (DMS), zie paragraaf 9.9.

De effectiviteit van het IMS wordt mede bepaald en vervolgens verbeterd door de volgende gestaffelde processen:

- Periodieke managementrapportage; Bedrijfsresultaten inclusief prestatie-indicatoren en de gewenste waarden, worden met een passende frequentie onder de aandacht van het management gebracht. Indien nodig worden acties ondernomen om meer zeker te stellen dat de gewenste waarden worden bereikt. PI's kunnen zowel proces-gerelateerd zijn als betrekking hebben op een aspect zoals Human Factors (zie paragraaf 9.7);
- Jaarlijks wordt op basis van jaarevaluatierapporten van diverse bedrijfsprocessen met enige veiligheidsrelevantie een integrale veiligheidsevaluatie uitgevoerd door de RBVC. Hierbij krijgen ook zogeheten cross-functionele aspecten zoals veiligheidscultuur en menselijk handelen (Human Performance, zie paragraaf 9.7) expliciet de aandacht;

- Tweejaarlijks wordt daarbij de conformiteit met wet- en regelgeving beoordeeld en wordt het resultaat conform de Kernenergiewetvergunning aan de toezichthoudende nationale overheid gerapporteerd;
- Tienjaarlijks worden bij deze evaluatie ook internationale ontwikkelingen op het gebied van techniek, organisatie, administratie en personeel en wet- en regelgeving met betrekking tot kernenergiecentrales op relevantie en toepassingsmogelijkheden getoetst;
- Periodiek vinden inspecties plaats door toezichthoudende overheden;
- Op basis van een wederkerend audit- en inspectieprogramma wordt binnen een periode van 3 jaar elk proces en dus ook elke documentsoort op volledigheid, effectiviteit en conformiteit met regelgeving onafhankelijk beoordeeld. In de tussenliggende periode worden interne inspecties op specifieke procesonderdelen of aspecten uitgevoerd;
- Op die delen van haar managementsysteem die EPZ-KCB door externe partijen heeft laten certificeren, vinden periodiek surveillance-audits en hercertificeringsaudits plaats;
- Gemiddeld eens in de 4 jaar wordt EPZ-KCB onderworpen aan een internationaal peerreview (afwisselend door de WANO of het IAEA) waarbij naar conformiteit met regelgeving wordt gekeken maar ook good-practices worden uitgewisseld;
- Alle incidenten met enige (potentiële) impact op de veiligheid worden intern gemeld en geregistreerd. Afhankelijk van de impact wordt meer of minder diepgaand de achterliggende oorzaak geanalyseerd (zie paragraaf 9.9, Bedrijfservaringen);
- Van de belangrijkste wereldwijd voorgevallen incidenten met betrekking tot het bedrijfvoeren met een kernenergiecentrale wordt de KCB-organisatie op de hoogte gesteld met de bedoeling geleerde lessen over te nemen. Zie ook paragraaf 9.8.

Alle voornoemde processen leiden indien van toepassing tot correctieve en preventieve maatregelen. De door derde partijen vastgestelde verbetermaatregelen worden analoog aan de interne verbetermaatregelen tot voltooiing gebracht. Voornoemde processen zijn ook zelf onderwerp van periodieke evaluatie en komen overeen met de van toepassing zijnde regelgeving.

3.1.5 Personeel

De cruciale schakel in de beheersing van veiligheidsprocessen is de menselijke factor. De bij de bedrijfsvoering te gebruiken voorschriften worden pas effectief als ze worden gehanteerd door deskundig personeel.

Personeel voor de KCB wordt geworven aan de hand van de per functie opgestelde Functietaakomschrijving die de minimale opleidingsniveaus en overige kwalificatie-eisen bevat.

Vanaf het moment van aanname wordt nieuw personeel opgeleid voor specifieke taken. De mate waarin het personeel gekwalificeerd is wordt gemonitord. Storingsanalyses en de kort en lang cyclische evaluatieprocessen leveren input voor de bijstelling van de benodigde kennis en vaardigheden. Voor overige toelichting op de kwalificatie en training van personeel, zie paragraaf 9.6.

3.1.6 Veiligheidscultuur

In paragraaf 3.2 worden de verschijningsvormen van de gewenste veiligheidscultuur genoemd en hoe de EPZ-KCB-organisatie die bereikt en in stand houdt. Paragraaf 9.7, "Menselijke factor" geeft aan hoe EPZ-KCB dit aspect optimaliseert.

3.2 VEILIGHEIDSCULTUUR

Een cultuur wordt algemeen gezien als het geheel van uitingen en gedragingen binnen een groep mensen; de veiligheidscultuur is een aspect daarvan.

De in de nucleaire wereld opererende organisaties behoren volgens de IAEA een veiligheidscultuur te hebben waarbij de uitingen en gedragingen ervan getuigen dat (nucleaire) veiligheid de overheersende aandacht ('overriding priority') krijgt.

De IAEA Fundamental Safety Principles, SF-1, de IAEA INSAG-4 en de WANO PL 2013-1 stellen de volgende kenmerken als essentieel voor een gewenste veiligheidscultuur:

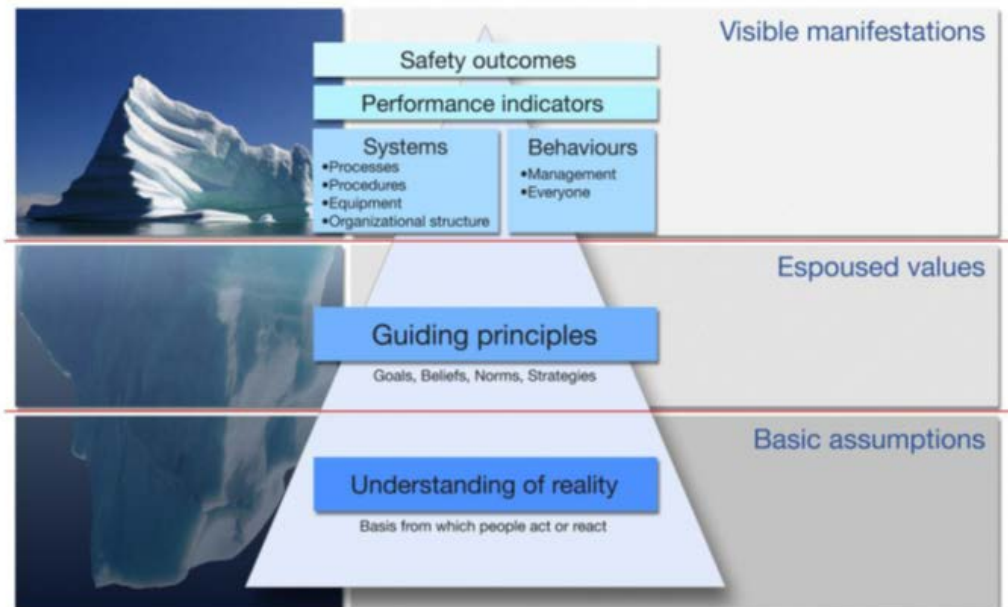
1. LEIDERSCHAP TEN AANZIEN VAN VEILIGHEID
 - leiders demonstreren hun betrokkenheid en verantwoordelijkheid;
 - besluitvorming is systematisch en grondig;
 - de werkomgeving is respectvol.

2. HET MANAGEMENTSYSTEEM
 - mogelijkheden om te leren en te verbeteren worden benut;
 - veiligheidsproblemen worden direct aangepakt en gecorrigeerd;
 - werkomgeving is veiligheidsbewust;
 - werkprocessen zijn geïmplementeerd.

3. INDIVIDUELE BETROKKENHEID BIJ VEILIGHEID
 - ieder voelt zich persoonlijk verantwoordelijk voor de veiligheid;
 - iedereen neemt een 'Questioning Attitude' aan;
 - veiligheidscommunicatie is breed, opwaarts en neerwaarts.

De Veiligheidscultuur dient onderhouden en continu verbeterd te worden.

De zichtbare uitingvormen van de cultuur zijn voortbrengselen van alle onzichtbare individuele stelsels van normen, waarden en overtuigingen en hun interactie (zie figuur 3.2/1).



Figuur 3.2/1: “Most of the culture is below the surface” (bron IAEA)

IAEA stelt eveneens dat veiligheidscultuur alleen, niet voldoende is. De gewenste nucleaire veiligheid wordt bereikt door het samenstel van:

- de gebruikte technologie; deze wordt behandeld in paragraaf 5.1;
- de gekozen strategieën (zie paragraaf 3.2.1);
- de beschikbaarheid van veiligheidssystemen, bepaald in de Technische Specificaties en beschreven in paragraaf 10.1;
- het managementsysteem, verder beschreven in paragraaf 3.3, Kwaliteitsmanagement;
- een gewenste veiligheidscultuur (zie hierna).

De directie van EPZ is zich van het voorgaande bewust en zal zich via de hiernavolgende acties inspannen om de gewenste veiligheidscultuur te ontwikkelen en te onderhouden.

3.2.1 **Beleid en strategie**

De gekozen strategie en het beleid ten aanzien van de wijze waarop de installatie veilig, beschikbaar en betrouwbaar blijft, worden op hoofdlijnen meer organisatorisch vastgesteld binnen de meerjaren bedrijfsplancyclus, bijvoorbeeld het Beleid Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming. Hierbij wordt in lijn gehandeld met de van toepassing zijnde regelgeving.

De meer technische gerichte strategie met betrekking tot de instandhouding van de installatie wordt vastgesteld in Strategiebeschrijvingen op basis van een daarvoor vastgestelde procedure en verder behandeld in paragraaf 9.2, Onderhoud, bewaking, inspectie en testen.

Een met name te noemen beleidsaspect wat betrekking heeft op vele bedrijfsaspecten is het risicobewustzijn. Het is goede praktijk om bij de meer risicovollere activiteiten een risicoanalyse te doen en naar aanleiding daarvan maatregelen te nemen om de risico's tot een aanvaardbaar niveau te reduceren.

Zo wordt bijvoorbeeld:

- het PSA (Probabilistic Safety Assessment)-model gebruikt bij het verzekeren van de optimale beschikbaarheid van de veiligheidssystemen;
- een Taak-risico-analyse uitgevoerd bij de voorbereiding van onderhoudswerk;
- de EPZ-risicomatrix gebruikt bij;
 - o het vaststellen van het veiligheidsbelang van wijzigingen;
 - o de bepaling van de diepgang van storingsanalyses.

3.2.2 Vaststellen managementverwachtingen

Het creëren van de gewenste veiligheidscultuur begint bij het vaststellen van de verwachtingen ten aanzien van elk (ook tijdelijk, extern) personeelslid. Deze verwachtingen zijn vastgelegd in de bedrijfsvoorschriften welke beschikbaar zijn voor het personeel via het Algemene Voorschriften Systeem, c.q. het Managementsysteem, behandeld in paragraaf 3.3.

Op de hiernavolgende wijzen wordt het personeel bewust gemaakt van het belang van alle aspecten van veiligheid en dus ook in het aanhouden van voorschriften hieromtrent en het vertonen van het gewenste gedrag.

3.2.3 Trainen en opleiden

De training en opleiding van nieuw en bestaand personeel wordt aangestuurd vanuit het Hoofdproces Organisatie & Personeel. Het Register Kwalificaties en Competenties en het Opleidingsjaarplan verzekeren dat ieder personeelslid de kennis en vaardigheden heeft die nodig zijn om (nucleair) veilig te werken en bewust te zijn van het gewenste gedrag. Bij training en opleiding worden de eerder genoemde bedrijfsvoorschriften alsmede een specifieke leerlijn met betrekking tot het verbeteren van de veiligheidscultuur, gehanteerd. Zo worden handelingsprincipes als STAR (Stop-Think-Act-Review; het aannemen van een conservatieve houding in onverwachte situaties), het 4-ogenprincipe (het organiseren van een extra collegiale controle op de uitvoering van risicovollere processtappen) en soft-skills, waaronder het aanspreken in geval van ongewenst gedrag, aangeleerd. Zie ook paragraaf 9.7, Menselijke Factoren.

3.2.4 Coaching

Tot de vereiste competenties van leidinggevenden van EPZ, vastgesteld binnen het hoofdproces Organisatie & Personeel, behoort het coachen van medewerkers. Bij het streven naar een gewenste (ideale) veiligheidscultuur is coaching een belangrijk instrument. Leidinggevenden worden onder andere getraind en beoordeeld op beheersing van deze vaardigheid (zie paragraaf 9.7, Menselijke Factoren).

3.2.5 Werkplekbezoeken

Via werkplekbezoeken stellen leidinggevenden zich op de hoogte van de mate waarin het personeel van de KCB aan de verwachtingen voldoet, bijvoorbeeld het vertonen van het gewenste gedrag. Een cruciaal element in het bereiken en in stand houden van de gewenste cultuur is dat medewerkers aangesproken worden op eventueel ongewenst gedrag (zie paragraaf 9.7, Menselijke Factoren).

3.2.6 Toezicht

In paragraaf 3.1, Organisatie van veiligheidsprocessen, wordt uiteengezet hoe door zowel intern als extern toezicht wordt beoordeeld in welke mate de gewenste veiligheidscultuur aanwezig is.

Er zijn prestatie-indicatoren in gebruik om ontwikkelingen, bijvoorbeeld die ten aanzien van de veiligheidscultuur, te monitoren en periodiek te evalueren en de resultaten te laten bijdragen aan de continue verbetering.

3.2.7 Evaluatie

Tijdens de jaarlijkse integrale veiligheidsevaluatie in de Reactor Bedrijfs Veiligheids Commissie (RBVC) wordt naast andere factoren die bijdragen aan de nucleaire veiligheid, de veiligheidscultuur geëvalueerd.

Het resultaat leidt indien nodig tot aanbevelingen aan het Plantmanagement. Daarbij is het proces van terugkoppeling van operationele ervaringen (zie paragraaf 9.8) zodanig ingericht dat in het geval er zich binnen het jaar een ongewenste ontwikkeling voordoet met betrekking tot bijvoorbeeld de veiligheidscultuur, er ook direct wordt ingegrepen.

Meer uitgebreide evaluaties vinden elke 2 en 10 jaar plaats (zie paragraaf 3.1).

3.3 KWALITEITSMANAGEMENT

3.3.1 Inleiding

In de afgelopen decennia heeft het fenomeen Kwaliteitsmanagement zich behoorlijk ontwikkeld. Ten tijde van het ontwerp en de bouw van de centrale was er een accentverschuiving op te merken. In de jaren '50-'60 werd de gewenste kwaliteit bereikt door vakmanschap en selectie van het technische eindproduct (kwaliteitscontrole, Quality Control, QC). In de jaren '60-'70 ontwikkelde dit zich, beginnend in de Verenigde Staten maar later uitbreidend naar Japan, naar een beheersing van het voortbrengingsproces (Kwaliteitsborging, Quality Assurance, QA). In Europa begon het QA-gedachtegoed medio jaren '80 door te dringen.

Deze ontwikkeling is ook van belang als het gaat over de kwaliteitsborging bij de bouw, de inbedrijfsstelling en de eerste jaren van bedrijfsvoering met de KCB.

In de wereld van de kernenergiecentrales begon het besef van de noodzaak van een goede kwaliteitsborging pas echt goed door te dringen na de ramp in Tsjernobyl in 1986. Het kwaliteitsmanagement bij de KCB en de daarmee samenhangende documentatie in alle fases van bedrijfsvoering moet dan ook worden gezien in het licht van de historische ontwikkeling.

Hierna wordt het Kwaliteitsmanagement belicht zoals dat bestond tijdens het ontwerp en de bouw van de KCB en vervolgens van het Kwaliteitsmanagementsysteem anno 2015.

3.3.2 Kwaliteitsmanagement bij het ontwerp en de bouw

In de periode voorafgaand aan de inbedrijfname van de kernenergiecentrale Borssele (KCB) in 1973 waren de gehanteerde methoden om zeker te stellen dat aan de gestelde eisen werd voldaan, afwijkend van de methoden die heden ten dage worden gehanteerd. Vooral het denken in termen van zekerstelling van kwaliteit was toentertijd in Europa nog nauwelijks in ontwikkeling. Het vertrouwen dat een product of dienst aan de gestelde eisen voldeed werd verkregen door gebruikmaking van deskundige en ervaren leveranciers en inspecties en keuringen achteraf.

De door de KCB genomen maatregelen ten tijde van het ontwerp en de bouw van de KCB om vertrouwen te hebben dat aan de gestelde eisen werd voldaan, waren:

- de keuze van een leverancier met een goede reputatie op dit vakgebied;
- de keuze van een goedgekeurd ontwerp; het ontwerp van de centrale voldeed aan de Duitse regelgeving en normen en was goedgekeurd door onafhankelijke instanties;
- de keuze van een bewezen ontwerp; het ontwerp had zich al in de praktijk bewezen omdat er al meerdere centrales van hetzelfde type in bedrijf waren;
- de gebruikmaking bij het ontwerp van door onafhankelijke instanties goedgekeurde specificaties;
- de omvang van de keuringen van componenten, die deel uitmaakten van de opgestelde specificaties;
- de gebruikmaking van componenten van een goedgekeurd type;
- het toezicht door onafhankelijke instanties op de keuringen;
- de functionele beproevingen bij inbedrijfname.

De toenmalige kijk op kwaliteitszorg heeft ertoe geleid dat de As Built beschrijving van configuratie van de installatie destijds niet volledig was. In de afgelopen jaren heeft de KCB zich echter zoveel mogelijk ingespannen om de oorspronkelijke kwaliteitsgegevens te reconstrueren. Terugkijkend naar de prestaties van de installatie in de afgelopen decennia, kan geconcludeerd worden dat toentertijd aan de eisen qua functionaliteit en langdurige betrouwbaarheid en integriteit van de KCB is voldaan.

Ook het bevoegd gezag heeft zich op grond van het oorspronkelijke veiligheidsrapport en de betreffende onderbouwende documentatie installatie ervan overtuigd dat de installatie de veiligheid voor mens en milieu voldoende waarborgde. Dit heeft geresulteerd in de oprichtingsvergunning.

3.3.3 Kwaliteitsmanagementsysteem

De KCB heeft een Kwaliteitsmanagementsysteem dat invulling geeft aan de eisen uit de via de bedrijfsvergunning opgelegde regelgeving, waaronder met name de NVR's. Ook komt het overeen met de internationale normen voor managementsystemen zoals de NEN-ISO 14001.

Het systeem voorziet in een beheersing van de bedrijfsprocessen bij:

- normale bedrijfsvoering, inclusief (wijzigings)projecten, zie hoofdstukken 9, 10, 11 en 14;
- noodsituaties, zie verder in hoofdstuk 12;
- de (voorbereiding op de) definitieve uitbedrijfstelling, zie verder in hoofdstuk 15.

Aan het kwaliteitsmanagement bij de KCB ligt de volgende basisstructuur ten grondslag:

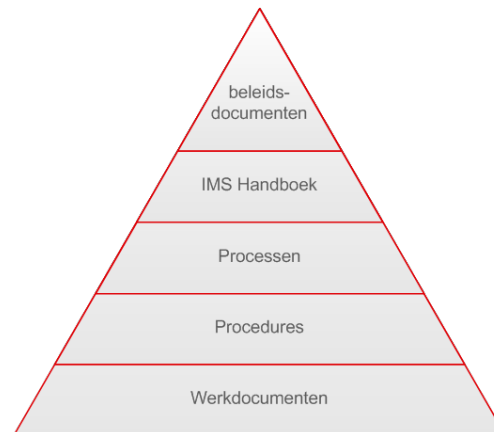
- bundelen van de activiteiten/werkzaamheden gerelateerd aan de exploitatie in op zichzelf staande bedrijfsfuncties, waarvan de omvang nauwkeurig is gedefinieerd en die elk eigen doelstellingen hebben;
- per bedrijfsfunctie vaststellen en vastleggen van de geplande en systematische acties die nodig zijn om de doelstellingen van de bedrijfsfunctie op een beheerste en veilige wijze te realiseren;
- het uitvoeren van de per bedrijfsfunctie vastgestelde en vastgelegde geplande en systematische acties;
- het actief nastreven van een kwaliteitscultuur als onderdeel van de integrale veiligheidscultuur.

Bepaalde bedrijfsfuncties hebben invloed op andere functies. Zo heeft de bedrijfsfunctie Stralingsbescherming onder andere invloed op de wijze waarop activiteiten binnen andere bedrijfsfuncties zoals Onderhoud, Bedrijfsvoering en Beveiliging, worden uitgevoerd. Het is een continu streven binnen het kwaliteitsmanagementsysteem om alle eisen (Kwaliteit, ARBO, Milieu) ten aanzien van een bepaalde activiteit zodanig te integreren dat dit voor de gebruiker leidt tot één heldere complete instructie. Het kwaliteitsmanagementsysteem KCB wordt daarom ook het Integraal Managementsysteem KCB, kortweg IMS, genoemd.

Binnen het IMS wordt de volgende hiërarchie aangehouden:

- beleidsdocumenten;
- handboek IMS;
- (bedrijfs)processen en procedures;
- werkdocumenten.

Hieronder volgt de uitwerking.



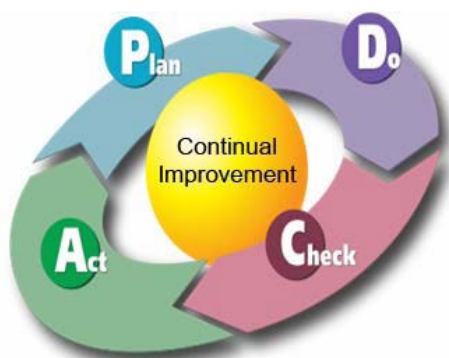
3.3.3.1 Handboek IMS

Het handboek IMS beschrijft het IMS op hoofdlijnen. Het beschrijft kort de kaders van het IMS, de organisatiestructuur, de indeling in bedrijfsprocessen, een korte beschrijving van de scope van deze processen en een normverantwoording.

3.3.3.2 Bedrijfsprocessen

Bedrijfsprocessen, ook wel hoofdprocessen genoemd, kunnen uit meerdere gerelateerde (deel)processen bestaan. Een desbetreffend handboek of beschrijving beschrijft de scope van het geheel en van de afzonderlijke deelprocessen, geeft het regelgevend kader, de per proces te hanteren werkdocumenten en de procesverantwoordelijken.

In elk (deel)proces is de continu verbeter cyclus, de zogenaamde Deming-circle: PLAN-DO-CHECK-ACT, ingebouwd (zie figuur 3.3/1).



Figuur 3.3/1 Deming-circle

Met betrekking tot de kernenergiecentrale worden onder andere de volgende bedrijfsprocessen en eventuele deelprocessen onderscheiden:

- strategie & beleid; Hieronder valt onder andere het proces van zelfevaluaties en managementevaluaties (zie paragraaf 3.1);
- risicomangement;
- compliance management; Met dit proces wordt het voldoen aan wet- en regelgeving, waaronder de NVR's, zeker gesteld;
- verbetermanagement; Zie paragraaf 3.1, Organisatie van Veiligheidsprocessen en paragraaf 9.8, Programma voor Terugkoppeling van Bedrijfservaringen (Feedback of Operating Experience);

Inrichting en beheer IMS

Dit hoofdproces omvat de planning van interne en externe audits en inspecties, het beoordelen van maatregelen ter verbetering, de verificatie van de effectiviteit van de doorgevoerde maatregelen, het beheer en het verbeteren van het IMS en de evaluatie van de effectiviteit van het hoofdproces (zie paragraaf 3.3, Kwaliteitsmanagement).

Splijtstofmanagement

Dit hoofdproces omvat de aanschaf van splijtstof, het toezicht op de productie van splijtstofelementen bij de leverancier, de handling van elementen vanaf levering, inzet in de kern, opbrandmetingen, afvoer naar de opwerkingsfabriek, definitieve opslag bij de COVRA en de evaluatie van de effectiviteit van het hoofdproces (zie paragraaf 9.3, Splijtstofmanagement).

(Radio)Chemische bedrijfsvoering

Dit hoofdproces omvat als aanvulling op het hoofdproces Bedrijfsvoering, de (radio) chemische procesbewaking van de KCB, de advisering ten aanzien van de bedrijfsvoering en de evaluatie van de effectiviteit van dit chemisch procesbewakingsprogramma.

Inkoop en logistiek

Dit hoofdproces omvat de initiatie van een in te kopen goed of dienst (aan de hand van inkoopspecificaties die afgeleid zijn van de binnen het hoofdproces Configuratiebeheer beheerste ontwerp-specificaties), de selectie van leveranciers, de orderplaatsing, de ingangscntrole van geleverde goederen en de opslag ervan, de leveranciersbeoordeling en de evaluatie van de effectiviteit van het hoofdproces.

Radio-actief afvalmanagement

Dit hoofdproces bestaat uit drie stromen: het binnen de vergunde lozingslimieten beheersen van radioactieve vloeibare en gasvormige lozingen en de verwerking van vast radioactief afval en de evaluatie van de effectiviteit van het hoofdproces.

Bedrijfsvoering

Dit hoofdproces omvat de inbedrijfname van (delen van) de installatie, de procesbewaking, de uitvoering van periodieke beproevingen, de opvolging en monitoring van Chemische bedrijfsvoeringsinstructies (afkomstig uit het hoofdproces Chemie), de uitbedrijfname van (delen van) de installatie, het reageren op verstoringen en het reageren op minder veilige situaties (dit laatste deelproces kan overgaan in het hoofdproces Alarmplan) en de evaluatie van de effectiviteit van het hoofdproces.

ARBO

Binnen dit hoofdproces worden periodiek de arbeid gerelateerde risico's van de bedrijfsvoering met de KCB geïnventariseerd en geëvalueerd met de bedoeling maatregelen te formuleren en door te voeren om de risico's te elimineren of tot een minimum te beperken. Het dagelijkse toezicht, het uitvoeren van inspecties en de evaluatie van de effectiviteit behoren ook tot het hoofdproces.

Milieu

Binnen dit hoofdproces worden periodiek de milieurisico's van de bedrijfsvoering met de KCB geïventariseerd en geëvalueerd met de bedoeling maatregelen te definiëren en door te voeren om milieurisico's te elimineren of tot een minimum te beperken waarbij vanzelfsprekend aan de wettelijke eisen is voldaan. Het dagelijkse toezicht en uitvoeren van inspecties en de evaluatie van de effectiviteit behoren ook tot het hoofdproces.

Beveiliging

Dit hoofdproces omvat de vaststelling van opzettelijke bedreigingen (ook terroristische bedreigingen en met inachtneming van alle dreigingsscenario's die de overheid daarbij aanreikt) van de eigendommen en het personeel van EPZ, het vaststellen van de noodzakelijke elektrische/ elektronische, bouwkundige en organisatorisch beveiligingsmaatregelen om de bedreigingen zo goed als mogelijk het hoofd te kunnen bieden, de operationele aansturing om deze maatregelen effectief te laten zijn en de evaluatie van de effectiviteit.

Personeelsmanagement

Dit hoofdproces omvat de vaststelling van de (her)inrichting van de organisatie, de taakverdeling over alle delen van de organisatie, de personeelskwalificatie-eisen per functie, de werving en selectie van personeel, de vaststelling van initiële en periodieke opleidingsprogramma's, het (her)opleiden en de evaluatie van de effectiviteit van het hoofdproces.

Onderhoud

Dit hoofdproces omvat de periodieke review en actualisatie van de Instandhoudingsprogramma's (Onderhoud, Surveillance en In-Service-Inspectie), de planning en werkvoorbereiding, de uitvoering van onderhouds-, toezichts- en inspectie- werkzaamheden, de analyse van aangetroffen afwijkingen in de KCB-installatie en de zowel intern als extern gesignaleerde verouderingsfenomenen, het op basis daarvan bijstellen van de Instandhoudingsprogramma's en de evaluatie van het gehele hoofdproces.

Configuratiebeheer

Vanuit de hoofdgedachte het ontwerp van de KCB te bewaken en te behoeden voor degradatie omvat dit hoofdproces enerzijds het beheer van configuratiedocumenten, waaronder de (oorspronkelijke) ontwerpbasisdocumentatie inclusief ontwerpspecificaties en waaronder ook veiligheidsrelevante software. Anderzijds omvat het wijzigen van de installatie inclusief de daarbij noodzakelijke aanpassing van configuratiedocumentatie, de inbedrijfstelling en uiteindelijke overdracht aan de operationele organisatie en de evaluatie van het gehele hoofdproces.

Ook de hoofdprocessen, bedoeld om de KCB-installatie te laten blijven voldoen aan de ontwerpisen, te weten: Spleijstofmanagement, (Chemische) Bedrijfsvoering, Inkoop en Instandhouding, ontlenen hun limieten en voorwaarden aan ontwerpdocumentatie die binnen dit Hoofdproces beheerd wordt.

Alarmplan

Dit hoofdproces omvat de vaststelling van de zowel van binnenuit als van buitenaf komende bedreigingen van de installatie en het personeel van de KCB, het vaststellen van de noodzakelijke mensen, middelen en methodes om de noodsituaties het hoofd het hoofd te kunnen bieden dan wel de gevolgen ervan tot een minimum te beperken en de evaluatie van het hoofdproces.

Voor zover de inventarisatie van bedreigingen vanuit het hoofdproces Beveiliging een overlap vormt met die uit het Alarmplan EPZ-KCB, wordt binnen het hoofdproces Alarmplan zeker gesteld dat EPZ op alle maatgevende bedreigingen voldoende is voorbereid.

Stralingsbescherming

Dit hoofdproces omvat alle activiteiten om de stralingsbelasting voor mens en milieu zoveel als redelijkerwijs mogelijk te voorkomen of te beperken, zoals stralingsmetingen, radiologische controles (denk aan veegtesten), advisering en begeleiding van onderhouds- en inspectieactiviteiten, etc. Het hoofdproces omvat ook de evaluatie van de effectiviteit van de stralingsbescherming.

Projectmanagement

Vanuit dit hoofdproces wordt de uitvoering van grote projecten waaronder sommige wijzigingen, beheerst.

3.3.3.3 **Deelprocessen (Uitvoeringsprocedures)**

Bedrijfsprocessen zijn zoals hiervoor beschreven meestal opgedeeld in meerdere deelprocessen. De beschrijving van deze deelprocessen, *Uitvoeringsprocedures* genaamd, beschrijven het (deel)proces in essentiële stappen.

Uitvoeringsprocedures bevatten de navolgende zaken:

- het doel;
- de wettelijke en interne eisen waar de activiteit aan moet voldoen;
- de taken, verantwoordelijkheden en bevoegdheden;
- de te hanteren documenten;
- de te doorlopen stappen op hoofdlijnen;
- de eventuele relatie met aansluitende processen.

3.3.3.4 **Werkdocumenten**

Werkdocumenten beschrijven meer in detail hoe het werk uitgevoerd moet worden en worden aangestuurd vanuit de betreffende uitvoeringsprocedure. De vereiste kwaliteit van werkdocumentsoorten wordt zo nodig in de bovenliggende procedure bepaald, de zogenaamde *Opstelprocedure*.

Opstelprocedures bevatten de navolgende zaken:

- doel, namelijk een volledig werkdocumentensoort met bepaalde kwaliteit zoals nader bepaald onder;
- eisen (vermeld wordt in welke gevallen een werkdocument moet worden opgesteld en welke informatie het werkdocument moet bevatten);
- taken, verantwoordelijkheden en bevoegdheden en de te hanteren documenten;
- het autorisatietraject;
- de Meta-gegevens van de tot stand komende werkdocumentsoort.

Voorbeelden van werkdocumenten zijn:

beproevingeninstructies, storingsrapporten, checklijsten, P&ID-schema's, kalibratielogkaarten, noodbedieningsinstructies, werkschrijvingen, systeembeschrijvingen, functieschema's, analysemeetstaten, bouwkundige tekeningen, wijzigingsplannen, auditrapporten en het TIP.

Afhankelijk van de aard van het uit te voeren werk zal het werkdocument een bepaald accent krijgen:

- normstellend; dergelijke documenten sturen activiteiten aan of beïnvloeden de wijze waarop activiteiten worden uitgevoerd, zoals bij de 'Lijst radiochemische specificaties';
- instruerend; gedetailleerde instructies met betrekking tot het uit te voeren werk, zoals bij beproevingsinstructies;
- registrerend; voor het vastleggen van gegevens, zoals bij onderhoudsprotocollen;
- rapporterend.

Zie verder paragraaf 9.9.

3.3.4 Kwaliteitsmanagement bij grote wijzigingsprojecten

Het uitgangspunt van het managementsysteem van de KCB is dat dit voorziet in de beheersing van alle voorkomende activiteiten ongeacht of deze worden uitgevoerd door eigen personeel of derden. Voor die projecten waarin het eigen systeem niet voorziet, kan gebruik worden gemaakt van de voorschriften van de fabrikant of leverancier. In die gevallen zal het desbetreffende projectplan en het daarvan deel uitmakende projectspecifieke kwaliteitsplan deze interfaces beschrijven.

Het projectspecifieke kwaliteitsplan inclusief de daaruit voortkomende projectspecifieke instructies waarborgen dat te allen tijde voldaan blijft worden aan de NVR's.

Aspecten die in het projectspecifieke kwaliteitsplan indien van toepassing aan de orde komen, zijn:

- verantwoordelijkheids- en bevoegdheidsverdeling en organisatorische verhoudingen;
- documentbeheersing;
- ontwerpbeheersing;
- inkoop;
- beheersing van materialen;
- keuring en beproeving;
- beoordelen en afhandelen van afwijkende zaken;
- beheersing van moeilijk verifieerbare processen;
- fabricage;
- montage;
- inbedrijfstelling (IBS);
- overname/overdracht.

EPZ-KCB zal vanuit haar eindverantwoordelijkheid met betrekking tot de bedrijfsvoering altijd aantoonbaar instemmen met de projectspecifieke voorschriften.

De hoofdprocessen Configuratiebeheer en Projectmanagement beheersen het bovenstaande.

Periodiek worden audits (zie paragraaf 3.3.5) uitgevoerd om de toepassing en de doeltreffendheid van de kwaliteitsborging binnen projecten te toetsen.

3.3.5 Audits

Periodiek worden audits uitgevoerd om de toepassing en de doeltreffendheid van het kwaliteitsmanagementsysteem te toetsen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- interne audits;
- externe audits;
- derde partij audits.

Het Hoofdproces IMS omvat alle activiteiten bedoeld om het managementsysteem effectief te laten worden en blijven. Daarvan is het uitvoeren van audits een belangrijk onderdeel.

3.3.5.1 Interne audits

Interne audits worden planmatig uitgevoerd. Een meerjaren auditprogramma is zodanig opgezet dat elke cyclus van 3 jaar alle bedrijfsprocessen minstens eenmaal geaudit zijn. EPZ heeft een van de dagelijkse leiding van de KCB onafhankelijke afdeling opdracht gegeven deze audits uit te voeren. Rapportage vindt plaats aan de directie.

3.3.5.2 Externe audits

Externe of leveranciersaudits kunnen worden uitgevoerd naar behoefte. De noodzaak ontstaat wanneer het voornemen bestaat om een nog niet voor de levering van nucleaire diensten of producten gekwalificeerde leverancier te contracteren. De uitvoering kan geschieden door de eigen afdeling of door een ingehuurd bedrijf. In het laatste geval wordt vooraf zeker gesteld dat dit bedrijf onafhankelijk is van de te auditen leverancier.

3.3.5.3 Derde partij audits

Derde partij audits zijn audits die uitgevoerd worden door derden op de werking van het kwaliteitssysteem van EPZ-KCB. Het betreft:

- (her)certificeringsaudit met betrekking tot de door EPZ gekozen ISO-normen voor managementsystemen zoals de ISO 14001, door een hiervoor geaccrediteerde firma zoals Lloyds;
- door de toezichhoudende overheid (ANVS) uitgevoerde audits;
- door EPZ of de toezichhoudende overheid gevraagde internationale peerreviews zoals die door de WANO of het IAEA. Het streven van EPZ is om de KCB elke 4 jaar een peerreview te laten ondergaan.

INHOUDSOPGAVE

4. VESTIGINGSPLAATS	4-2
4.1 VESTIGINGSPLAATS EN BEREIKBAARHEID	4-2
4.2 GEOLOGIE EN SEISMOLOGIE	4-5
4.2.1 Geologie.....	4-5
4.2.2 Seismologie	4-8
4.3 HYDROLOGIE	4-11
4.4 KLIMAAT EN WEERSOMSTANDIGHEDEN	4-14
4.5 BODEMGEBRUIK EN INDUSTRIE	4-18
4.6 TRANSPORT	4-20
4.7 DEMOGRAFIE	4-21
4.8 RADIOLOGISCHE INVLOEDEN VAN BUITENAF	4-26
4.9 OMGEVINGSASPECTEN M.B.T. HET ALARMPPLAN	4-27

4. VESTIGINGSPLAATS

In dit hoofdstuk wordt de vestigingsplaats van de kernenergiecentrale Borssele met de belangrijkste omgevingskarakteristieken beschreven. Daarbij wordt ook ingegaan op externe invloeden op de kernenergiecentrale als gevolg van die omgevingskarakteristieken, voor zover deze relevant zijn voor de aan het ontwerp te stellen eisen. De bestendigheid van het ontwerp tegen deze omgevingskarakteristieken wordt verder behandeld in paragraaf 5.10. Het hoofdstuk gaat niet in op gevaren waarvoor geen aanwijzingen zijn dat deze in de wijde omgeving van de vestigingsplaats kunnen voorkomen. Hieronder vallen onder andere vulkanen, lawines en aardverschuivingen.

De informatie in dit hoofdstuk wordt opnieuw beschouwd in het kader van de 10-jaarlijkse veiligheidsevaluaties, of eerder wanneer daartoe aanleiding is. Bij deze evaluatie wordt gebruikt gemaakt van informatie van daartoe ingestelde instanties, zoals het KNMI voor meteorologische data.

4.1 VESTIGINGSPLAATS EN BEREIKBAARHEID

De kernenergiecentrale is bereikbaar vanaf de autosnelweg Vlissingen - Bergen op Zoom (A58/E312) via de N254 afslag Middelburg dan wel Heinkenszand naar de Europaweg-Zuid, de rondweg om het industrieterrein Vlissingen-Oost. Via de Wilhelminahofweg is het terrein van EPZ Locatie Zeeland rechtstreeks op deze Europaweg-Zuid aangesloten.

De kernenergiecentrale Borssele (KCB) ligt circa 1,4 km ten noordwesten van Borssele aan de Westerschelde. De steden Vlissingen, Middelburg, Goes en Terneuzen liggen op afstanden van respectievelijk circa 10, 10, 14 en 13 km, zie figuur 4.1/1. Het terrein ligt direct achter de zeedijk van de Westerschelde en grenst aan de noordzijde aan het industriegebied Vlissingen-Oost. Het behoort tot het grondgebied van de gemeente Borssele en is eigendom van de N.V. EPZ.

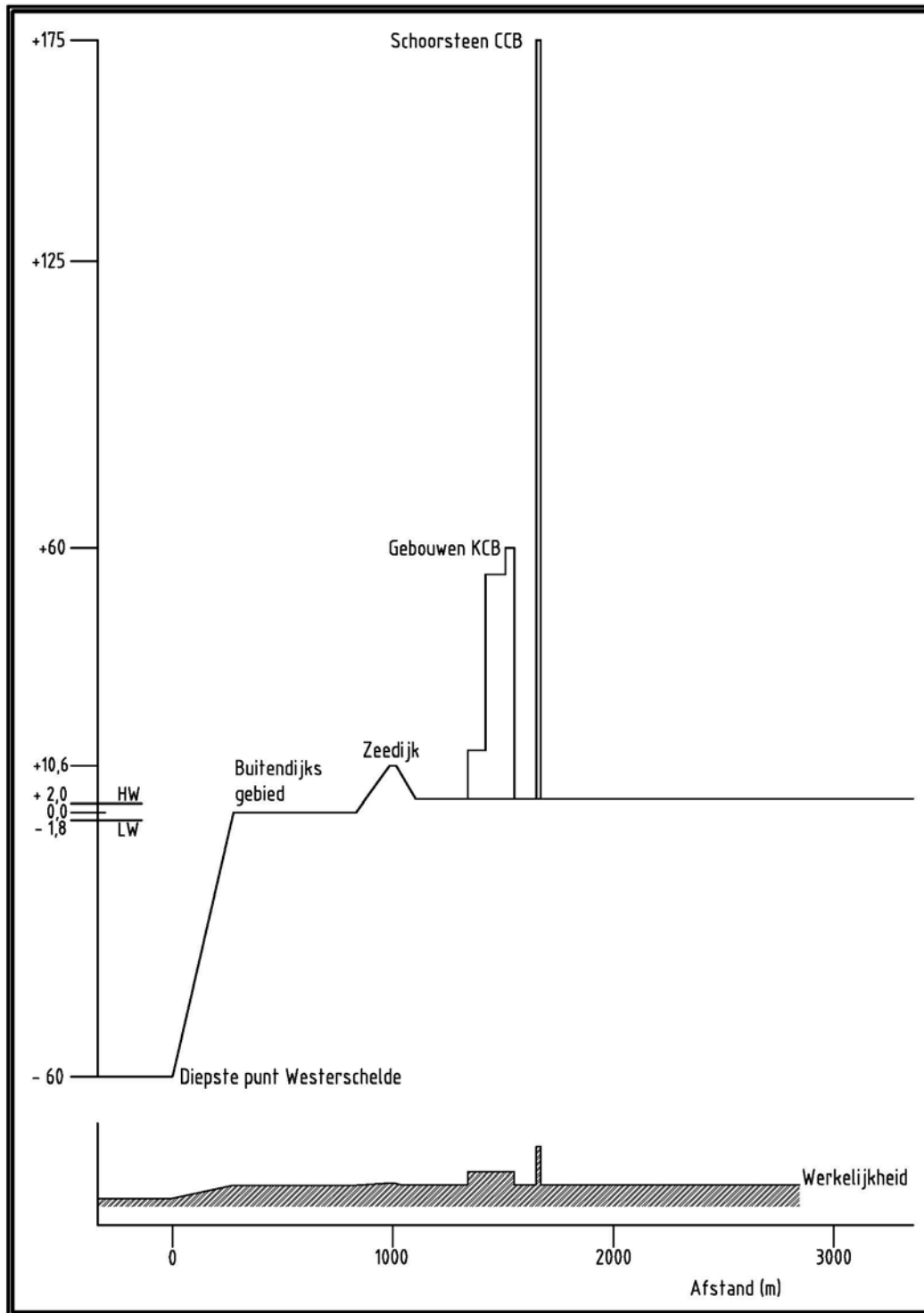


Figuur 4.1/1 Ligging kernenergiecentrale Borssele

De coördinaten van het terrein van de kernenergiecentrale Borssele in longitude en latitude zijn respectievelijk $03^{\circ}43'13''\text{OL}$ en $51^{\circ}25'40''\text{NB}$.

Naast de kernenergiecentrale bevinden zich op de locatie van N.V. EPZ een kolen/gasgestookte eenheid (BS12), de zogenaamde Conventionele Centrale Borssele (CCB), met bijbehorend kolenpark (KP01) en een tijdelijke opslag van kolenreststoffen (VB91). Tevens zijn er diverse kantoorgebouwen.

Het maaiveld van het terrein rond de centrale ligt op circa $3\text{ m} + \text{NAP}$. De naastliggende zeedijk heeft een kruinhoogte van $10,6\text{ m} + \text{NAP}$. Het diepste punt in de Westerschelde, de Honte, bevindt zich juist ter hoogte van de centrale. De zeebodem ligt hier op circa $60,0\text{ m} - \text{NAP}$. In figuur 4.1/2 zijn de hoogteverschillen schematisch in beeld gebracht.



Figuur 4.1/2 Verticaal profiel

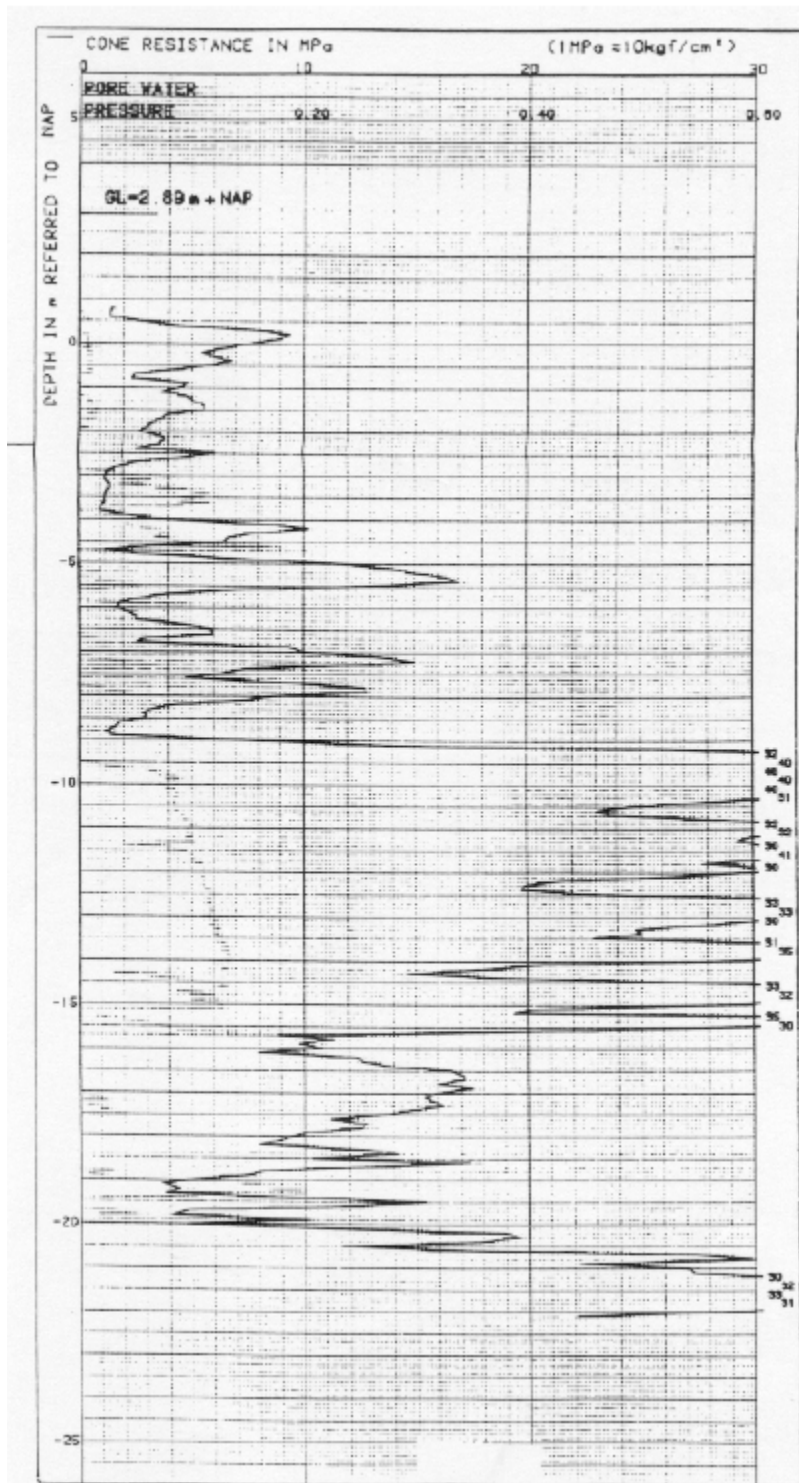
4.2 GEOLOGIE EN SEISMOLOGIE

4.2.1 Geologie

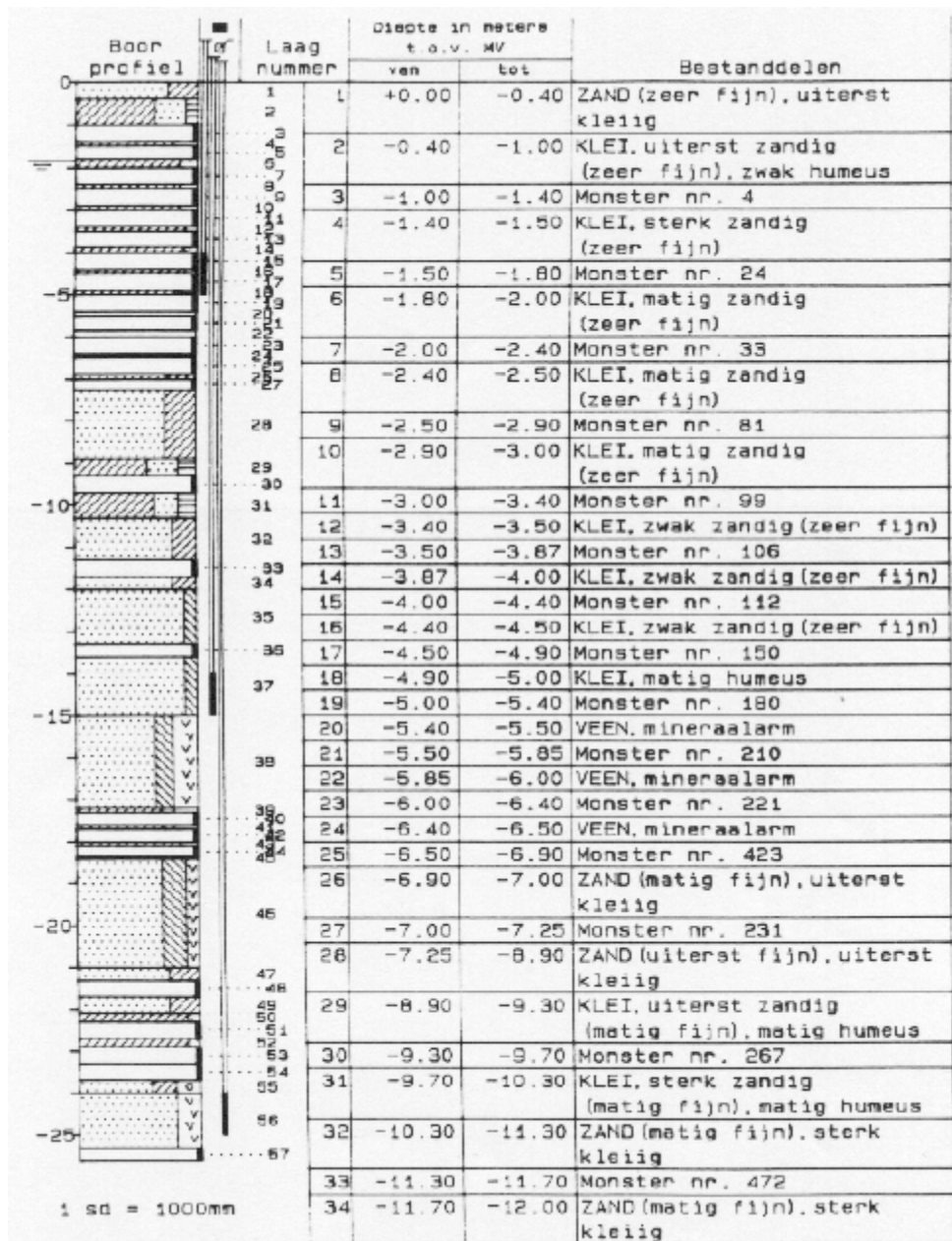
Nederland ligt op een gedeelte van de aardkorst dat in het algemeen aan daling onderhevig is geweest en ook nu nog daalt: een zogenaamd sedimentair bekken. Meer specifiek maakt Nederland deel uit van het Noordzeebekken. Reeds vanaf het Tertiair, circa 60 miljoen jaar geleden, tot in de huidige geologische periode, het Kwartair, zet de daling geleidelijk door. Als gevolg daarvan zijn de afzettingen in de bovenste lagen tot tientallen of zelfs honderden meters diep uit die perioden afkomstig. In het jongste geologische tijdvak, het Holoceen, zijn in het westelijke deel van Nederland afzettingen ontstaan, die in de kuststreken enige tientallen meters dik kunnen zijn.

In Walcheren en Zuid-Beveland bestaan de min of meer aan de oppervlakte liggende afzettingen uit 'jonge kleien en zanden'. Als gevolg van getijdebewegingen, die invloed hadden voordat indijkingen plaatsvonden, is er een relatief gering reliëf van 1 à 1,5 m ontstaan.

Uit bodemonderzoek op het terrein van de centrale blijkt dat opbouw van de bodem en de verschillende lagen afzonderlijk over het algemeen vrij homogeen en regelmatig zijn. Een indicatie van bodemopbouw en de draagkracht van de ondergrond is weergegeven in figuren 4.2/1 en 4.2/2.



Figuur 4.2/1 Sondering ondergrond kernenergiecentrale



Figuur 4.2/2 Boring ondergrond kernenergiecentrale

4.2.2 Seismologie

Aardbevingen worden in het algemeen gekarakteriseerd door de magnitude en door de intensiteit. De magnitude is een kwantitatieve logaritmische schaal die aangeeft hoe krachtig de beving is en is daarmee een maat voor hoeveel energie er in het hypocentrum¹ van de aardbeving is vrijgekomen. Er zijn verschillende magnitudeschalen in gebruik. De belangrijkste van deze eenheden zijn de lokale magnitude (schaal van Richter), de oppervlaktegolf magnitude en de momentmagnitude.

De intensiteit beschrijft kwalitatief de uitwerking van een aardbeving op een bepaald gebied; het is een maat voor het effect op een bepaalde locatie. De intensiteit hangt onder meer af van de kracht van de beving, de afstand tot het hypocentrum en de lokale eigenschappen van de ondergrond. Ook voor deze grootte zijn meerdere schalen gangbaar. Veel gebruikt zijn de MSK-schaal (Medvedev, Sponheuer en Karnik) en de MMI-schaal (Modified Mercalli Intensity). Beide schalen berusten op waarnemingen over het gedrag van mensen en dieren, de uitwerking op gebouwen en veranderingen in de natuur. Ze zijn vergelijkbaar, maar niet exact hetzelfde. Beide schaalverdelingen variëren van I (laag) tot XII (meest destructief). Een globale vergelijking tussen de magnitude en de intensiteit ter plaatse van het epicentrum met de daarbij behorende lokale effecten wordt weergegeven in tabel 4.2.2/1.

Tabel 4.2.2/1 Globale vergelijking tussen magnitude en de intensiteit gemeten rond het epicentrum

Magnitude [Richter]	Intensiteit [MMI]	Verschijsel
1,9	I	Alleen door seismografen geregistreerd
2,5	II	Zeer licht: slechts onder gunstige omstandigheden gevoeld
3,1	III	Licht: trilling als van voorbijrijdend voertuig: door enkele personen gevoeld
3,7	IV	Matig: door velen gevoeld; rammelen van deuren en ramen; trilling als van zwaar verkeer
4,3	V	Vrij sterk: algemeen binnenshuis gevoeld; opgehangen voorwerpen slingeren; klokken blijven stilstaan
4,9	VI	Sterk: schrikreacties; voorwerpen in huis vallen om; bomen bewegen; weinig solide huizen worden beschadigd
5,5	VII	Zeer sterk: schade aan vele gebouwen; schoorstenen breken af; golven in vijvers; kerkklokken geven geluid
6,1	VIII	Vernielend: paniek; algemene schade aan gebouwen; zwakke bouwwerken gedeeltelijk vernield
6,7	IX	Verwoestend: vele gebouwen zwaar beschadigd; algemene schade aan funderingen; ondergrondse pijpleidingen breken
7,3	X	Vernietigend: verwoesting van vele gebouwen; grondverplaatsingen en scheuren in de aarde; schade aan dammen en dijken
7,9	XI	Catastrofaal: algemene verwoestingen van gebouwen; rails worden sterk verbogen; ondergrondse leidingen vernield
8,5	XII	Buitengewoon catastrofaal: algemene verwoesting; scheuren in rotsen; verandering van landschap; talloze aardverschuivingen

In Nederland worden door het KNMI sinds 1904 aardbevingen geregistreerd. Er zijn verspreid over het land verschillende seismometers geplaatst waarmee men het hypocentrum en de magnitude van een aardbeving nauwkeurig kan bepalen. Deze seismometers zijn voornamelijk geplaatst in gebieden waar met enige regelmaat bevingen plaatsvinden; zoals rond Limburg en

¹ Het hypocentrum is de locatie van het punt waar de beving plaatsvindt; de projectie daarvan aan het aardoppervlak wordt epicentrum genoemd.

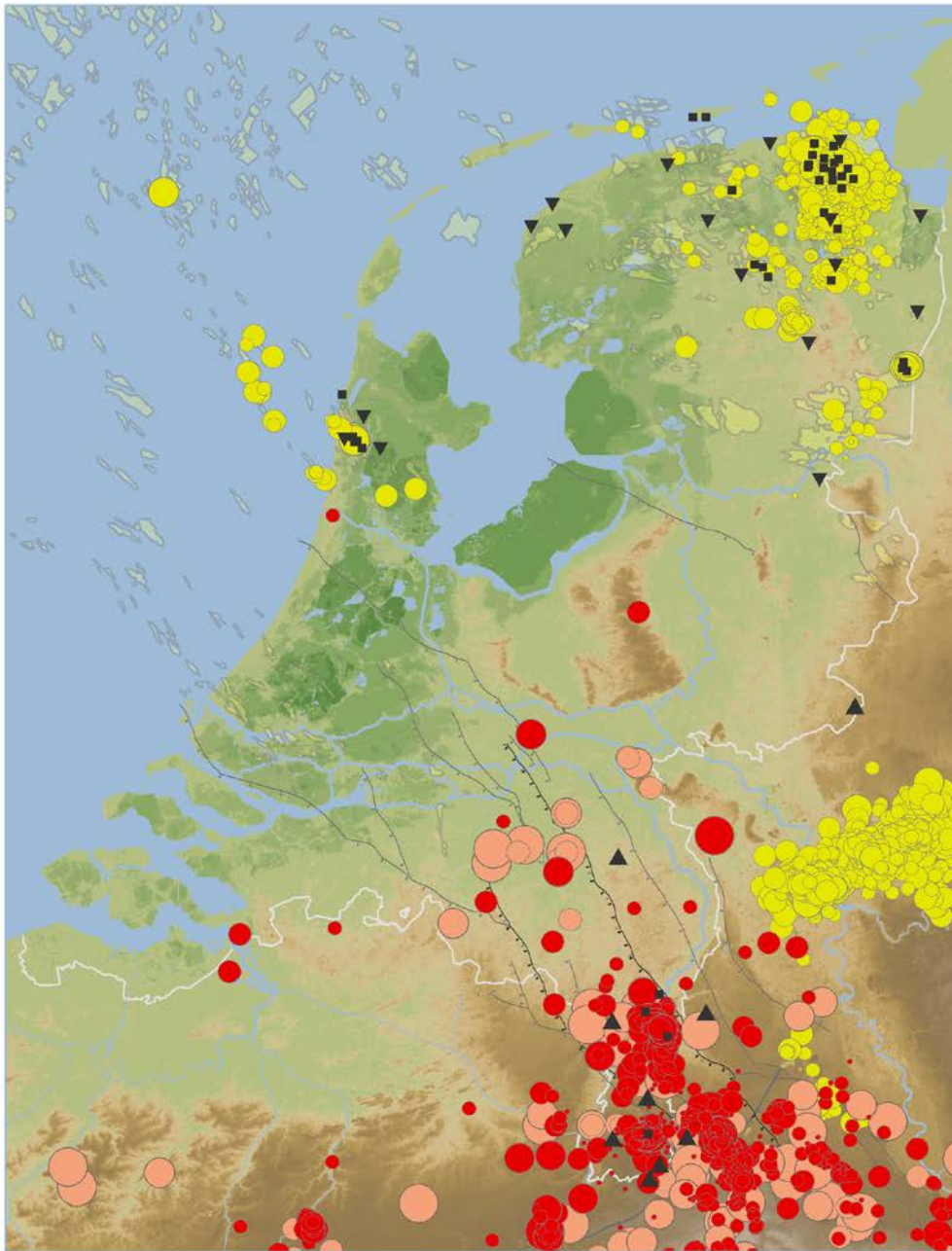
Groningen. De epicentra van de bevingen die hiermee worden waargenomen liggen verspreid over de hele wereld. Voor bevingen uit de periode van voor dat seismometers gebruikt werden voor registratie, worden historische documenten gebruikt ter identificatie.

De epicentra van in en rond Nederland opgetreden bevingen zijn weergegeven in figuur 4.2/3. De grootte van de stippen geeft de sterkte van de bevingen aan. De figuur laat zien dat de vestigingsplaats van de kernenergiecentrale niet in een seismisch actief gebied ligt. Tektonische seismiciteit concentreert zich voornamelijk in het zuidoosten van Nederland en in het zuiden van België. Geïnduceerde bevingen, als gevolg van mijnbouw of gaswinning, vinden voornamelijk plaats in de provincies Groningen en Noord-Holland en in het Ruhrgebied. Voor de vestigingsplaats zijn geïnduceerde bevingen niet aan de orde door de afwezigheid van mijnbouwactiviteiten in de nabije omgeving. De kaart laat ook zien dat er in de omgeving geen gas- of olievoorraden bekend zijn.

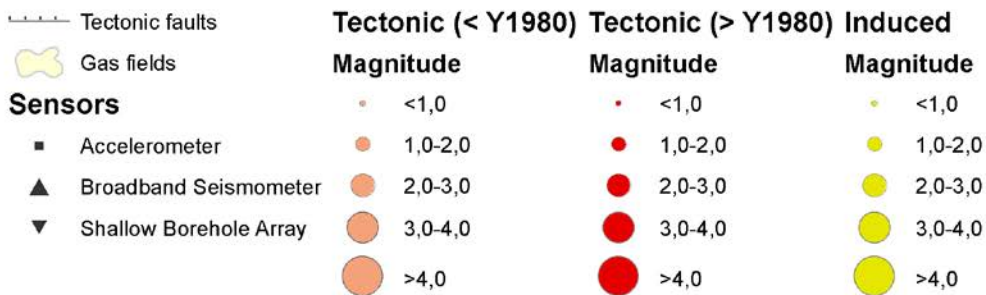
Een recente beving, die van Roermond op 13 april 1992, had een voor Nederlandse begrippen hoge magnitude, namelijk 5,5 op de schaal van Richter. De intensiteit ter plaatse bedroeg VII (MMI). In Borssele, op ruim 150 km afstand, bedroeg de intensiteit ongeveer IV (MMI).

De hoogst bekende intensiteit in het gebied rond de vestigingsplaats werd waargenomen op 11 juni 1938 als gevolg van een beving van 5,6 op de schaal van Richter op ongeveer 70 km afstand tussen Oudenaarde en Ronse in België. De intensiteit rond de vestigingsplaats bedroeg circa $V\frac{1}{2}$ (MSK).

Om de ontwerpgrondslag te bepalen werd in het verleden voor gebieden met een zeer lage seismische activiteit, zoals de vestigingsplaats van de kernenergiecentrale, veelal naar het maximale in het gebied van de locatie waargenomen aardbevingseffect verwezen. De intensiteit daarvan wordt (conform toen geldende regelgeving IAEA en KTA) vermeerderd met 1. Voor de ontwerpgrondslag is daarom een intensiteit van $VI\frac{1}{2}$ (MSK) gehanteerd. Volgens een recente probabilistische beschouwing heeft een intensiteit van 6,4 (EMS) in de vestigingsplaats een overschrijdingsfrequentie van 10^{-4} per jaar.



Seismicity map of The Netherlands (KNMI, March 2015)



Figuur 4.2/3 Overzicht van geregistreerde bevingen in en rondom Nederland

4.3 HYDROLOGIE

In figuur 4.3/1 is de ligging van de kernenergiecentrale ten opzichte van de Westerschelde en de Noordzee weergegeven. Enkele karakteristieke waterhoogten in de Westerschelde ter hoogte van Vlissingen zijn gegeven in tabel 4.3/1. Een overzicht van het terrein met inbegrip van de kolengestookte centrale en het 150 kV-station is te vinden in figuur 4.3/2. De gemiddelde maaiveldhoogte ter plaatse van de centrale is 3 m + NAP, meer landinwaarts varieert de hoogte van 1 tot 4 m + NAP. Het terrein heeft een oppervlakte van ongeveer 0,7 km² en wordt omsloten door de volgende dijken:

- dijk A aan de westzijde van het terrein direct aan de Westerschelde. De kruinhoogte van deze dijk is gemiddeld 10,6 m +NAP;
- dijk B aan de noordzijde van het terrein. Deze dijk scheidt het terrein af van de Sloehaven. De kruinhoogte van deze dijk is gemiddeld 8 m +NAP;
- dijk C aan de zuid- en oostzijde van het terrein. Deze inlandse dijk scheidt het terrein af van de Borssele polder en heeft een hoogte van 4 m +NAP.

De kernenergiecentrale ligt in het zuidwesten van dijkkringgebied 30 dat globaal Zuid-Beveland ten westen van het Kanaal door Zuid-Beveland omvat. Dijk A en B zijn onderdeel van de primaire waterkering van deze dijkkring en moeten voldoen aan de wettelijke norm voor primaire waterkeringen in Zeeland. Het verschil in de kruinhoogte tussen beide dijken volgt uit de verschillen in oriëntatie en voorland; beide dijken hebben hierdoor te maken met een andere mate van golfloop. Dijk C is een secundaire, regionale waterkering. Voor alle dijken is het Waterschap Scheldestromen de beheerder en daarmee verantwoordelijk voor het toetsen van en het onderhoud aan de dijken.

De getijdewebeweging in de Westerschelde wordt opgewekt door die in de Noordzee. Er vindt als gevolg van de bodemweerstand een vervorming van de getijdeweg plaats tijdens de voortplanting van de golf in het Westerscheldebekken. Bovendien treedt door de vorm van het bekken enige opstuwing op. Door deze effecten lopen de getijdeverschillen op van Vlissingen (circa 3,8 m) naar Antwerpen (circa 4,9 m). De grootste stroomsnelheden liggen bij opkomend tij tussen 1,3 en 1,5 m/s en bij afgaand tij tussen 0,8 en 1,0 m/s. Het debiet bedraagt bij Vlissingen circa 55.000 m³/s.

De belangrijkste stormen ter plaatse van de polder van de centrale zijn afkomstig van de Noordzee en worden aangedreven door een noordwestelijke wind. Bij een dergelijke storm wordt het water op de Noordzee over de grootst mogelijke beschikbare strijklengte (over een as tussen Schotland en Noorwegen bezien) opgestuwd in de richting van het relatief smalle Nauw van Calais. Daarbij ontstaan de hoogste stormvloedstanden en golven op de Noordzee. Deze stormvloeden en golven dringen ook de Westerschelde in. De centrale is bestand tegen een waterpeil van 7,3 m + NAP als gevolg van overstroming van het terrein (zie paragraaf 5.10). Een recente probabilistische beschouwing, waarin rekening is gehouden met het falen van de primaire waterkering ter hoogte van de centrale, heeft aangetoond dat deze situatie een overschrijdingsfrequentie heeft die ruimschoots kleiner is dan 10⁻⁶ per jaar.

Stormvloed vormt de belangrijkste hydrologische bedreiging voor de kernenergiecentrale. De gevolgen van een dergelijke gebeurtenis zijn afdekkend voor overstroming van het terrein als gevolg van zeer extreme regenval of leidingbreuk. De waterstandsverheffing op de Westerschelde als gevolg van een mogelijke tsunami wordt afgedekt door de beschouwde stormvloed.

Uit waarnemingen bij Vlissingen in de periode van 1959 tot 2012 blijkt dat de gemiddelde temperatuur van het zeewater circa 11 °C bedraagt. Op 22 januari 1963 is een laagste waarde geregistreerd van -1,5 °C, terwijl op 29 juli 2006 als hoogste waarde 23,7 °C is gemeten. Uit de reeks van jaarlijkse maxima van 1959 tot 2012 is een stijgende trend af te leiden van ongeveer

0,03 °C per jaar. Rekening houdend met de spreiding rond deze trend, is de verwachting dat tot 2034 de maximale zeewatertemperatuur niet boven de 26 °C komt.

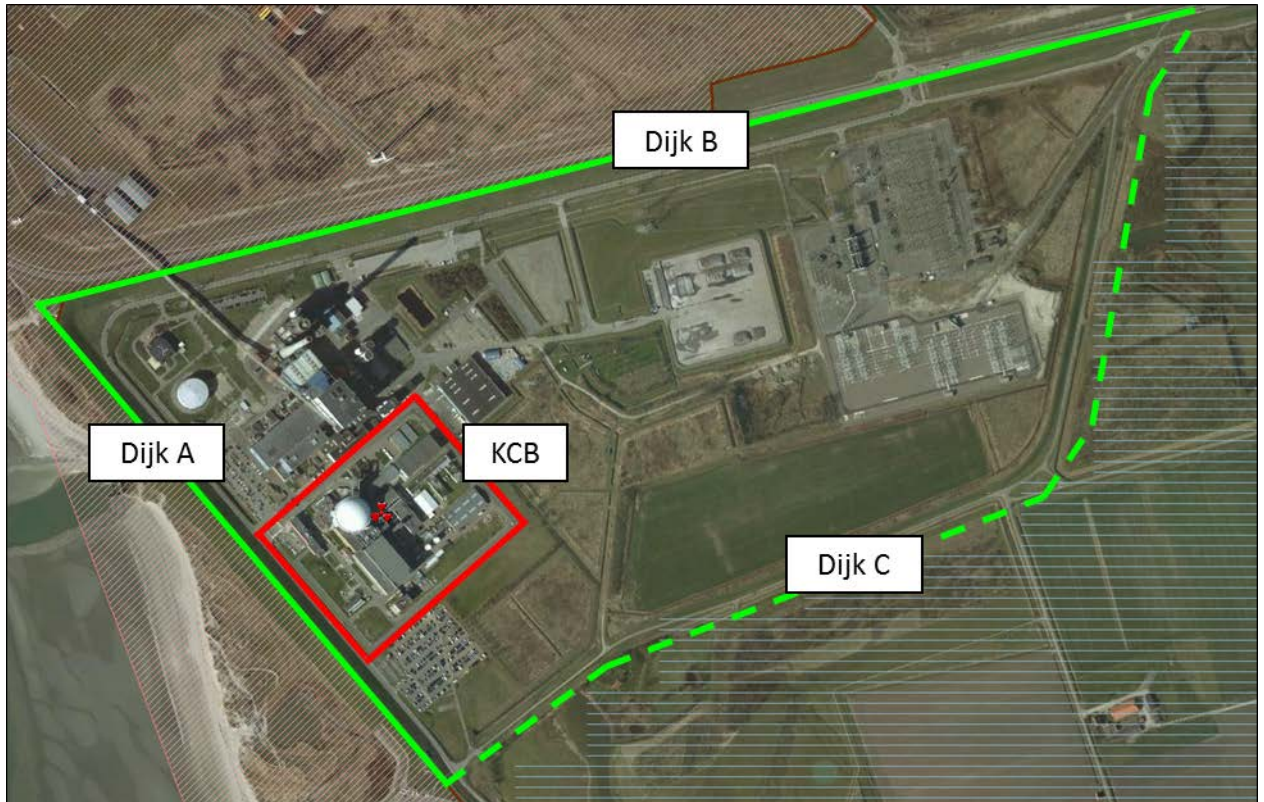
Het terrein van de kernenergiecentrale ligt binnendijks, zodat het grondwater niveau slechts in geringe mate door de getijdenbeweging wordt beïnvloed. Ter plaatse van de gebouwen bevindt zich op een diepte van circa 20 m een waterscheidende kleilaag van ongeveer 2 m dik. Bij een maaiveldhoogte van 3,0 m + NAP ligt de grondwaterspiegel op circa 2,75 m + NAP.

Tabel 4.3/1 Karakteristieke waterhoogten in de Westerschelde ter hoogte van Vlissingen

	Hoogwater [m NAP]	Laagwater [m NAP]	Tijverschil [m]
Gemiddeld tij	2,05	-1,81	3,86
Gemiddeld springtij	2,43	-2,04	4,47
Gemiddeld doottij	1,55	-1,47	3,02
1 februari 1953, Borssele	4,7		



Figuur 4.3/1 De kernenergiecentrale ligt aan de Westerschelde in het zuidwesten van dijkkringgebied 30



Figuur 4.3/2 Overzicht van het terrein van de kernenergiecentrale met inbegrip de kolengestookte centrale, het 150 kV-station en de omringende dijken

4.4 KLIMAAT EN WEERSOMSTANDIGHEDEN

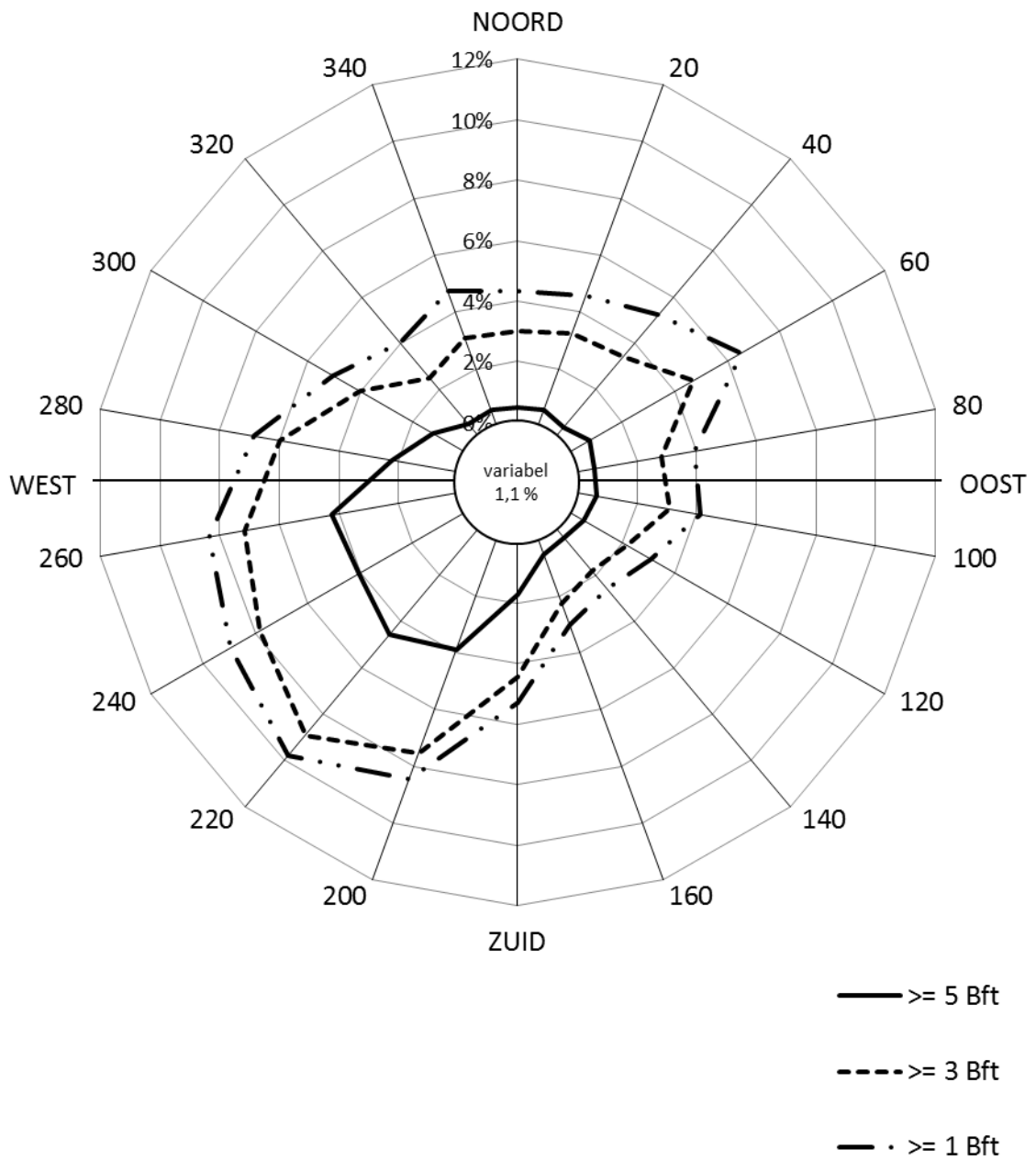
De relevante meteorologische gegevens worden verzameld door het KNMI op het waarnemingsstation Vlissingen. De jaarlijkse frequenties van heersende windkrachten en windrichtingen zijn voor de periode 1991-2010 getabelleerd (tabel 4.4/1) en grafisch weergegeven in een windroos in figuur 4.4/1. Hieruit blijkt dat zuidwestelijke winden met name bij hogere windkrachten domineren. De langjarige gemiddelden over het tijdvak 1981-2010 zijn opgenomen in tabel 4.4/2. Dit betreft luchtdruk, temperatuur, neerslag, relatieve vochtigheid en bezonning. Er zijn gemiddeld 24 tot 26 dagen per jaar met onweer. Uit de gegevens blijkt dat zeer extreme weersituaties zich in deze periode in het gebied van de vestigingsplaats niet hebben voorgedaan.

Om de mogelijke schade aan gebouwen als gevolg van wind te bepalen is de optredende windsnelheid en de daarbij behorende kans van optreden op de locatie Borssele van belang. Bij wind wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds zware stormen met hevige windvlagen en anderzijds windhozen of tornado's, waarbij sprake is van een wervelwind.

De overschrijdingsfrequentie is bepaald door middel van extrapolatie van de tot op heden opgetreden windsnelheden en de bijbehorende gemiddelde terugkeerperioden. Het blijkt dat voor stormwinden de maximale windsnelheid op een hoogte van 40 m met een overschrijdingsfrequentie van $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar 56 m/s bedraagt en dat een windsnelheid van 70 m/s een overschrijdingsfrequentie heeft die ruimschoots kleiner is dan $1 \cdot 10^{-7}$ per jaar. Voor wervelwinden is de overschrijdingsfrequentie van een windsnelheid van 125 m/s (translatie en rotatie) bepaald op $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar.

Tabel 4.4/1 Windkrachtfrequenties in procenten voor het gehele jaar (Vlissingen, tijdvak 1991-2010)

Windrichting [°]	Windkracht in Beaufort			Stil en variabel
	>=5	>=3	>=1	
010-020	0,54	3,24	4,57	
030-040	0,39	3,43	5,23	
050-060	0,75	4,72	6,53	
070-080	0,56	2,83	3,93	
090-100	0,63	3,09	4,15	
110-120	0,51	2,18	3,09	
130-140	0,38	1,83	2,61	
150-160	0,54	2,26	3,03	
170-180	1,71	4,44	5,29	
190-200	3,90	7,55	8,43	
210-220	4,59	8,91	9,82	
230-240	4,05	7,82	8,94	
250-260	4,22	7,15	8,36	
270-280	2,24	5,99	6,83	
290-300	1,22	4,03	5,04	
310-320	0,52	2,52	4,03	
330-340	0,55	3,10	4,74	
350-360	0,47	2,99	4,31	
totaal	27,77	78,07	98,93	1,07



Figuur 4.4/1 Windroos Vlissingen, tijdvak 1991-2010

Tabel 4.4/2 Langjarige gemiddelden te Vlissingen over het tijdvak 1981-2010

310	Temperatuur(°C)			Relatieve vochtigheid %		Neerslag		Verdamping som in mm	Globale Straling som in J/cm2	Zonneschijn		Lucht druk in hPa	Pot. wind snelheid in m/s	Gem. wind snelheid in m/s	Wind- vector snelheid in m/s richting in graden	Wind						
	gemiddeld	gemiddeld minimum	gemiddeld maximum	gemiddeld	12.00 UT	duur in uren	in % van de tijd			som in mm	in uren					in % langst mogelijke duur	> 4 Bft	> 5 Bft	> 6 Bft	> 7 Bft	> 8 Bft	
jan	4.0	2.1	6.0	87	86	63.6	9	58.5	9.9	8172	67.8	26	1017.0	6.7	7.5	3.6	218	28	22	14	7	3
feb	4.0	2.0	6.2	85	82	52.7	8	48.0	17.3	14284	89.2	32	1016.9	6.2	6.9	2.1	229	24	18	10	5	1
mrt	6.4	4.1	9.1	83	79	54.6	7	51.1	37.3	28177	134.2	36	1015.4	5.9	6.6	2.5	243	27	20	11	5	2
apr	9.2	6.3	12.5	78	70	39.0	5	38.7	63.5	44083	187.2	45	1014.4	5.2	5.8	0.8	287	26	16	7	2	0
mei	12.9	9.9	16.4	78	70	40.2	5	52.6	88.9	55957	218.3	45	1015.5	5.1	5.6	1.0	295	27	15	6	1	0
jun	15.6	12.6	19.1	78	71	38.9	5	63.2	98.8	58708	215.5	43	1016.5	4.9	5.4	2.0	277	25	15	6	1	0
jul	18.0	15.0	21.5	78	70	31.5	4	64.1	103.9	58860	223.2	45	1016.2	4.9	5.5	2.3	261	26	16	5	1	0
aug	18.2	15.3	21.6	78	70	34.3	5	74.9	88.4	49908	207.4	46	1015.8	4.9	5.4	2.1	256	26	15	6	1	0
sep	15.8	13.2	18.6	80	73	45.3	6	69.4	55.5	32888	152.9	40	1016.1	5.2	5.8	1.9	236	25	16	7	3	0
okt	12.2	9.8	14.6	83	78	53.8	7	76.1	30.7	19812	116.5	35	1014.5	5.9	6.7	2.8	207	27	20	10	4	1
nov	8.1	6.1	10.1	87	84	67.6	9	77.1	13.1	9414	68.7	26	1014.3	6.1	6.9	3.2	211	26	20	11	5	1
dec	4.9	3.0	6.7	88	86	69.6	9	69.0	7.3	5862	52.1	21	1015.6	6.2	7.0	2.9	214	27	20	12	6	2
winter	4.4	2.4	6.3	86	84	186.0	9	176.5	34.5	28303	210.6	27	1016.6	6.4	7.2	2.9	220	79	61	37	19	6
lente	9.5	6.8	12.7	80	73	133.8	6	142.4	189.7	128217	539.7	43	1015.1	5.4	6.0	1.3	263	80	51	24	8	2
zomer	17.3	14.3	20.7	78	70	104.6	5	202.2	291.1	167477	646.0	45	1016.2	4.9	5.5	2.1	264	77	45	17	4	0
herfst	12.0	9.7	14.4	83	78	166.7	8	222.7	99.3	62113	338.2	35	1015.0	5.7	6.5	2.6	215	78	55	28	12	2
jaar	10.8	8.3	13.5	82	77	591.0	7	742.8	614.6	386126	1733.1	39	1015.7	5.6	6.3	2.0	235	314	211	105	43	11

310	Aantal dagen met:										Weersverschijnselen					Neerslag				Zonneschijn			
	Temperatuur					10 cm					mist *	regen	sneeuw *	hagel *	onweer *	ijsvorming *	droog	> 0 mm	0.1 mm	1 mm	10 mm	zonloos	≥ 20 %	≥ 80 %
maximum	minimum	> 30 °C	> 25 °C	> 20 °C	> 15 °C	< 0 °C	< 0 °C	< -5 °C	< -10 °C														
jan	.	.	.	.	2	7	2	0	9	6	21	5	2	0	1	9	22	18	12	1	10	17	3
feb	.	.	.	.	1	7	1	0	9	6	16	5	2	0	1	10	18	14	9	1	6	13	3
mrt	.	.	.	1	0	3	0	.	4	5	19	3	2	1	0	11	20	16	11	1	5	12	4
apr	.	0	1	7	.	0	.	.	1	2	18	2	2	1	.	12	18	13	9	1	2	8	5
mei	.	1	7	18	.	.	.	.	0	2	18	0	1	4	.	14	17	14	10	1	2	9	6
jun	0	2	10	27	.	.	.	.	.	1	18	.	1	4	.	12	18	13	10	2	1	8	4
jul	1	6	18	31	.	.	.	.	.	1	18	.	0	4	.	13	18	13	9	2	1	7	4
aug	1	5	20	31	.	.	.	.	.	1	17	.	0	4	.	14	17	13	10	2	1	7	4
sep	.	1	8	28	.	.	.	.	.	3	18	.	0	3	.	12	18	15	11	2	2	10	3
okt	.	.	1	14	.	0	.	.	0	3	20	0	1	2	.	11	20	16	12	2	4	12	3
nov	.	.	.	1	0	1	.	.	2	5	22	2	2	1	0	8	22	18	13	2	8	17	1
dec	.	.	.	.	1	6	0	.	7	6	21	3	3	1	1	9	22	17	13	2	13	20	2
winter	.	.	.	0	5	20	3	0	24	18	58	13	6	1	3	28	62	49	34	4	29	51	8
lente	.	1	8	26	0	3	0	.	5	9	55	5	5	5	0	37	55	42	29	3	8	28	15
zomer	1	14	48	89	.	.	.	.	.	4	53	.	1	12	.	39	53	39	29	6	3	22	12
herfst	.	1	9	43	0	1	.	.	2	10	60	2	4	6	0	30	61	49	36	6	15	39	8
jaar	1	16	65	158	5	25	3	0	31	42	226	19	16	24	3	134	231	180	128	19	55	139	42

* mist, sneeuw, hagel, onweer en ijsvorming zijn de langjarige gemiddelden over 1971-2000

4.5 BODEMGEBRUIK EN INDUSTRIE

Het oorspronkelijke maaiveld ter plaatse van de vestigingsplaats lag op 1,0 m + NAP. De bodem ter plekke en in het gebied ten oosten en zuiden van de locatie bestaat uit zogenaamde poldervaaggronden. Het blijkt, dat het grondgebied in de Gemeente Borsele in hoofdzaak wordt gebruikt voor akker- en tuinbouw. De belangrijkste gewassen zijn granen (wintertarwe en zomergerst), aardappelen, suikerbieten, luzerne (wordt gebruikt als veevoeder) en uien. Fruit- en veeteelt vinden op beperkte schaal plaats. Boomgaarden (appels en peren) zijn met name te vinden oostelijk van de kernenergiecentrale. Veeteelt vindt plaats op de graslanden van de oude polders en in het binnendijks gebied langs de Westerschelde.

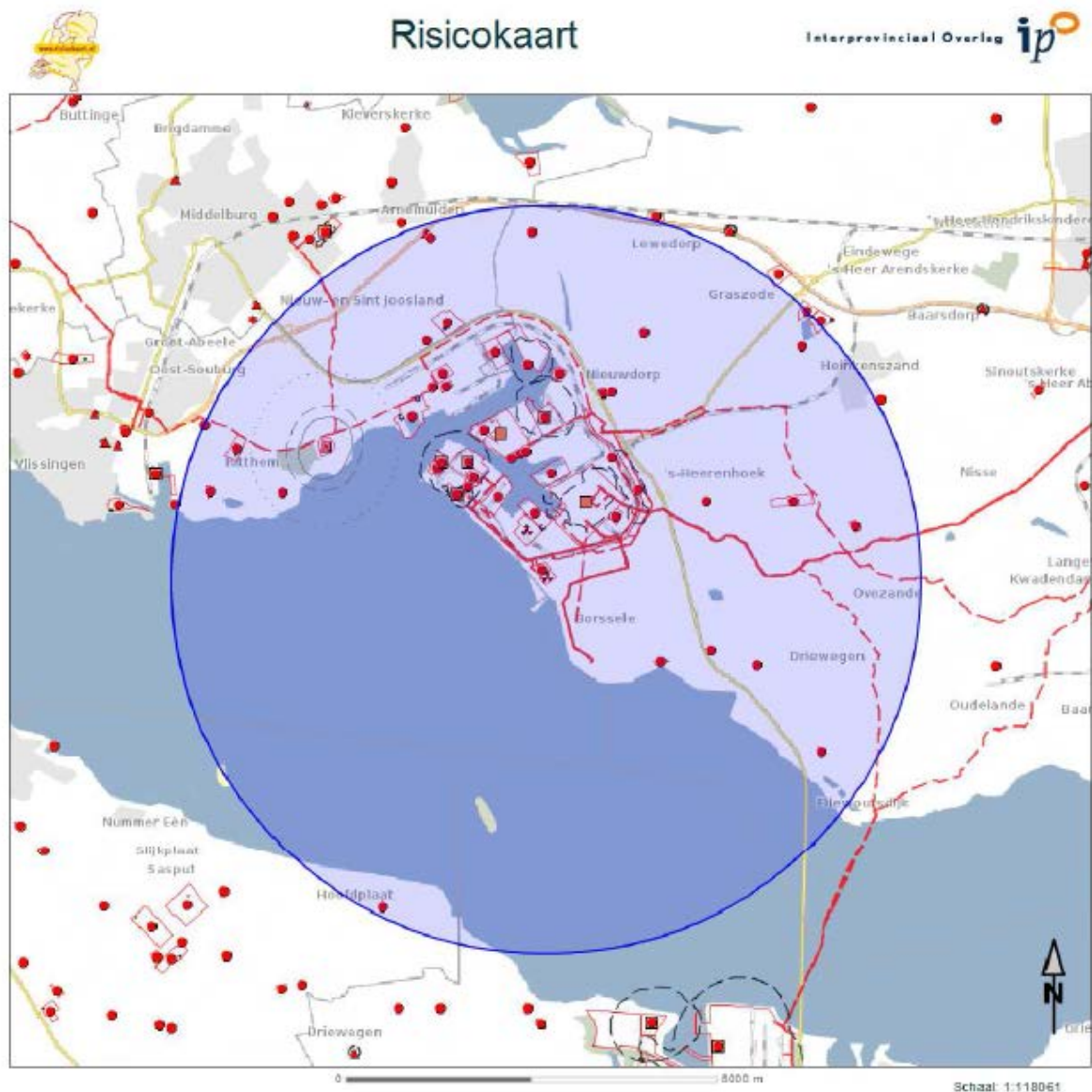
Het landschap in dit gedeelte van Zuid-Beveland wordt getypeerd als "kleinschalig zeepolderlandschap". Tegenwoordig behoren veel vroegere zeekeringen zoals de Zuid-Bevelandse dijken tot beschermd natuurgebied en zijn in beheer van de stichting "Zeeuws Landschap". In dit gebied zijn de hoogteverschillen relatief gering, circa 1 à 1,5 m; de ophogingen zijn met name overblijfselen van vroegere strandwallen.

In de onmiddellijke omgeving van de vestigingsplaats liggen enkele gebieden, die in bescheiden mate voor recreatieve doeleinden worden gebruikt. Dit zijn onder meer de Westerscheldedijk in zuidoostelijke richting en de jonge duinen met aangrenzend strand in noordwestelijke richting (de vroegere Kaloot). De buitendijkse terreinen langs de Westerschelde zijn overigens bestemd voor natuurbehoud- en waterstaat-doeleinden met recreatief medegebruik.

De kustvisserij op de Westerschelde richt zich in hoofdzaak op garnalen en kokkels, waarbij Breskens de belangrijkste aanvoerhaven is.

Ten noorden van de vestigingsplaats van de kernenergiecentrale ligt het havengebied Vlissingen-Oost. De scheiding wordt gevormd door een spoorverbinding en een verkeersweg. Een inventarisatie van bedrijven in de buurt van de kerncentrale is uitgevoerd op basis van de soort, de massa en het volume van de stoffen die er worden opgeslagen of verwerkt, de risico-afstand, en of er een risicoanalyse voor deze stoffen gemaakt dient te worden. Hierbij is gekeken naar alle inrichtingen binnen een straal van 8 km van de kernenergiecentrale en naar de Vlissingen Haven en de Braakmanhaven, zie figuur 4.5/1. Het blijkt dat de hoeveelheden gevaarlijke stoffen in deze gebieden te klein zijn om een gevaar te vormen voor de kernenergiecentrale. Van geen enkele van deze inrichtingen sluit de risicocontour van 10^{-6} per jaar de kernenergiecentrale in.

Verder is gebleken dat een explosiedruk golf als gevolg van een ongeval bij deze industrieën of een ongeval met een nabijgelegen gasleiding op de locatie van de kernenergiecentrale een overdruk geeft die ruimschoots onder 0,1 bar ligt.



Figuur 4.5/1 Met rood aangegeven zijn alle inrichtingen en buisleidingen met gevaarlijke stoffen (stand 2015). Binnen een straal van 8 km zijn deze beschouwd op de mogelijke invloed op de kernenergiecentrale.

4.6 TRANSPORT

In de nabijheid van de vestigingsplaats bevinden zich verschillende transportroutes. Dit betreft verkeers- en spoorwegverbindingen, scheepvaartroutes en routes ten behoeve van vliegverkeer. De belangrijkste verkeerswegen zijn de snelweg A58 (E312) en de hoofdverkeerswegen N254 en N62. Voorts is het haventerrein Vlissingen-Oost door diverse verkeerswegen ontsloten die allemaal aftakken van de rondweg om het industrieterrein (Europaweg). Parallel aan de Europaweg ligt een goederenspoorweg van en naar het industrieterrein. De vestigingsplaats van de kernenergiecentrale is niet met dit spoor verbonden. Noordelijk van de vestigingsplaats, bij Arnemuiden, sluit het goederenspoor aan op de spoorlijn Vlissingen – Bergen op Zoom.

Uit inventarisatie van de hoeveelheden en soorten explosieve en toxische stoffen die over de weg en per spoor worden vervoerd en de afstand van dit vervoer tot de kernenergiecentrale is gebleken dat de mogelijke invloed hiervan op het veilig functioneren van de centrale verwaarloosbaar is.

De hoofdvaargeul in de Westerschelde ten behoeve van de zeescheepvaart van en naar Antwerpen ligt op ongeveer 1,5 km van de kernenergiecentrale. Op een ongeveer gelijke afstand in noordoostelijke richting bevindt zich het havengebied Vlissingen-Oost met onder meer de Van Cittershaven, de Quarleshaven en de Sloehaven.

Uit evaluaties blijkt dat bij een afstand groter dan 500 m van de opslagtanks of transportwegen van gemiddeld actieve explosieve gas- en luchtmengsels (zoals LPG) geen hogere overdruk wordt verwacht dan 0,1 bar. De minimale afstand van het LPG-transport over de Westerschelde tot de centrale bedraagt 1 km.

Op ongeveer 10 km afstand ten noorden van de vestigingsplaats ligt het vliegveld Midden Zeeland. Dit vliegveld is bestemd voor kleine luchtvaart, dat wil zeggen voor vliegtuigen met een maximum startgewicht van 5700 kg. De vestigingsplaats ligt onder een algemene zone voor het civiele luchtverkeer. De dichtstbijzijnde militaire vliegbasis is Woensdrecht op een afstand van circa 40 km in oostnoordoostelijke richting.

Op basis van de jaarfrequentie van neergestorte vliegtuigen in Nederland en de plaatselijke intensiteit van het vliegverkeer boven de locatie van de kernenergiecentrale is de frequentie voor directe en indirecte impact berekend. Dit is gedaan voor drie typen vliegtuigen. De resultaten zijn weergegeven in tabel 4.6/1.

Tabel 4.6/1 Frequentie van directe en indirecte impact van een vliegtuig op de gebouwen van de kernenergiecentrale

Type vliegtuig	Impactfrequentie (per jaar)
Klein burgervliegtuig (< 5700 kg)	$1,6 \cdot 10^{-7}$
Groot burgervliegtuig (> 5700 kg)	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Militair vliegtuig	$\ll 1 \cdot 10^{-7}$

4.7 DEMOGRAFIE

Om de bevolkingsverdeling rondom de kerncentrale weer te geven is een indeling gemaakt in zestien sectoren van elk 22,5°, genummerd 1A t/m 8B. In tabel 4.7/1 is sectorgewijs tot een straal van 50 km de bevolkingsverdeling weergegeven. De woonkernen met inwonertal per sector tot 20 km zijn weergegeven in tabel 4.7/2.

Binnen het gebied met een straal van 50 km is rekening gehouden met permanente bewoning. Het aantal toeristen en werknemers wordt beschouwd binnen een straal van 20 km. Hieronder volgt een nadere beschrijving.

Toeristen

Zeeland is een populaire vakantiebestemming, onder zowel Nederlanders als buitenlanders. In de schatting van de bevolking in het 20 km gebied is daarom toerisme ook beschouwd. Om een conservatieve schatting te kunnen maken is ervoor gekozen om te kijken naar het maximale aantal dat op één moment verwacht kan worden, hiervoor is het aantal toeristische slaapplekken een goede schatting. In heel Zeeland waren er 124.210 slaapplekken in 2011. De hoeveelheid toeristen is geschaald naar het landoppervlak van Zeeland, ofwel er is aangenomen dat deze slaapplekken gelijkmatig zijn verdeeld over de provincie. Dit is een conservatieve schatting omdat het gebied vlak om de kerncentrale sterk geïndustrialiseerd is, en verder voor een groot deel een agrarisch karakter heeft. De provincie Zeeland heeft een landoppervlak van 1784 km², wat leidt tot een maximale toeristendichtheid van 69,7 toeristen per vierkante kilometer.

Werknemers

Zoals eerder aangegeven is het gebied om de kernenergiecentrale sterk geïndustrialiseerd. Met name in de zone van vijf kilometer is het aandeel van werknemers daarom niet verwaarloosbaar. Het actuele totale aantal werknemers is 6.200, waarvan er op elk gegeven moment maximaal 4.200 in het gebied aanwezig zijn. Er wordt conservatief aangenomen dat alle voornoemde werknemers binnen de 5 km zone werkzaam zijn. De verdeling van werknemers over de verschillende sectoren is vastgelegd in tabel 4.7/3. Werknemers buiten de 5 km zone vormen geen significante extra bijdrage aan de hoeveelheid mensen omdat deze wegvallen tegen uitreizende lokale bewoners.

Tabel 4.7/1 Verdeling van de bevolking (stand 1 januari 2011)

STRAAL	5 km	10 km	15 km	20 km	30 km	40 km	50 km
	inclusief toerisme en werknemers				alleen permanente bevolking		
Sector 1A	1.751	4.206	5.045	10.686	9.502	14.983	20.320
Sector 1B	1.299	2.498	6.604	10.163	17.760	27.209	56.127
Sector 2A	2.416	9.412	38.545	45.759	49.625	66.890	91.585
Sector 2B	545	2.251	9.544	20.026	31.896	74.257	147.386
Sector 3A	745	4.069	6.558	7.592	12.539	15.281	216.383
Sector 3B	1.097	1.968	1.968	6.830	24.218	69.169	205.712
Sector 4A	226	226	14.234	30.129	43.078	147.238	235.428
Sector 4B	0	0	4.084	10.065	20.515	75.907	303.872
Sector 5A	0	200	4.840	8.607	31.374	76.890	225.058
Sector 5B	0	1.425	5.218	8.265	18.065	49.247	104.515
Sector 6A	0	162	4.104	11.332	13.755	41.594	175.270
Sector 6B	0	0	4.691	7.061	3.727	20.720	53.626
Sector 7A	173	14.043	37.961	37.961	34.440	34.440	34.440
Sector 7B	281	20.043	35.659	43.127	41.881	41.881	41.881
Sector 8A	1.653	10.305	27.364	36.054	32.061	32.061	32.061
Sector 8B	1.619	7.138	9.853	13.492	8.896	8.896	8.896
TOTALEN	11.804	77.946	216.271	307.151	393.330	796.661	1.952.559

Tabel 4.7/2 Woonkernen in 20 km zone (stand 1 januari 2011)

Naam	Sector	Afstand	Inwoners	Naam	Sector	Afstand	Inwoners
Lewedorp	1A	7,4	1.180	Watervliet	5A/ 5B	18,5	1.614
Geersdijk	1A	15,4	300	Hoofdplaat	5B	7,8	585
Hansweert	1A	16,3	1.660	IJzendijke	5B	14,0	1.775
Wissenkerke	1A	17,1	1.060	Waterlandkerkje	5B	17,0	275
Nieuwdorp	1A/ 1B	4,5	905	Waterland - Oudeman	5B	18,7	465
Kortgene	1A/ 1B	15,4	1.770	Sint Margriete	5B	20,0	642
Oud-Sabbinge	1B	12,7	275	Nummer Eén	6A	10,0	145
Wolphaartsdijk	1B	13,1	1.610	Schoondijke	6A	14,1	1.255
Kats	1B	19,1	335	Oostburg	6A	19,6	4.520
Eindewege	1B/ 2A	10,3	230	Breskens	6A/ 6B	12,0	4.395
's-Heerenhoek	2A	4,3	1.645	Groede	6A/ 6B	15,7	765
Heinkenszand	2A	8,3	4.950	Nieuwvliet	6B	18,3	300
's-Heer- Arendskerke	2A	9,9	1.170	Nieuwvliet-Bad- Oost en -West	6B	19,4	40
's-Heer- Hendrikskinderen	2A	12,8	1.185	Ritthem	7A	6,6	380
Goes	2A	14,5	26.985	Dishoek	7A	13,6	165
Kloetinge	2A	15,6	3025	Oost Souburg	7A/ 7B	8,8	10.315
Wilhelminadorp	2A	16,5	695	Vlissingen	7A/ 7B	10,1	33.490
Kattendijke	2A	18,8	370	Koudekerke	7B	12,7	2.905
Nisse	2B	9,7	470	Biggekerke	7B	15,3	735
's-Heer-Abtskerke	2B	12,1	350	De Ruiser	7B	16,4	15
's-Gravenpolder	2B	13,3	4.435	Meliskerke	7B	17,1	1.195
Kapelle	2B	17,8	8.215	Zoutelande	7B	17,8	1.350
Schore	2B	20,0	450	Kustlicht	7B	18,8	10
Ovezande	2B/ 3A	7,2	830	Aagtekerke	7B	19,2	1.205
Kwadendamme	2B/ 3A	11,1	625	Middelburg	7B/ 8A	10,5	39.300
Driewegen	3A	6,2	415	Nieuw- en Sint Joosland	8A	7,1	1.105
Oudelande	3A	9,8	490	Brigdamme	8A	12,4	585
Baarland	3A	11,8	445	Sint Laurens	8A	13,3	1.030
Hoedekenskerke	3A	13,7	560	Gapinge	8A	14,0	395
Kern Ossenisse	3A	18,9	120	Serooskerke	8A	15,6	1.580
Borssele	3A/ 3B/ 4A	1,5	1.250	Grijpskerke	8A	15,8	985
Ellewoutsdijk	3B	8,3	335	Vrouwenpolder	8A	17,6	810
Reuzenhoek	3B	17,8	145	Oostkapelle	8A	19,2	1.540
Zaamslag	3B/ 4A	18,9	1.870	Randduin	8A	20,0	395

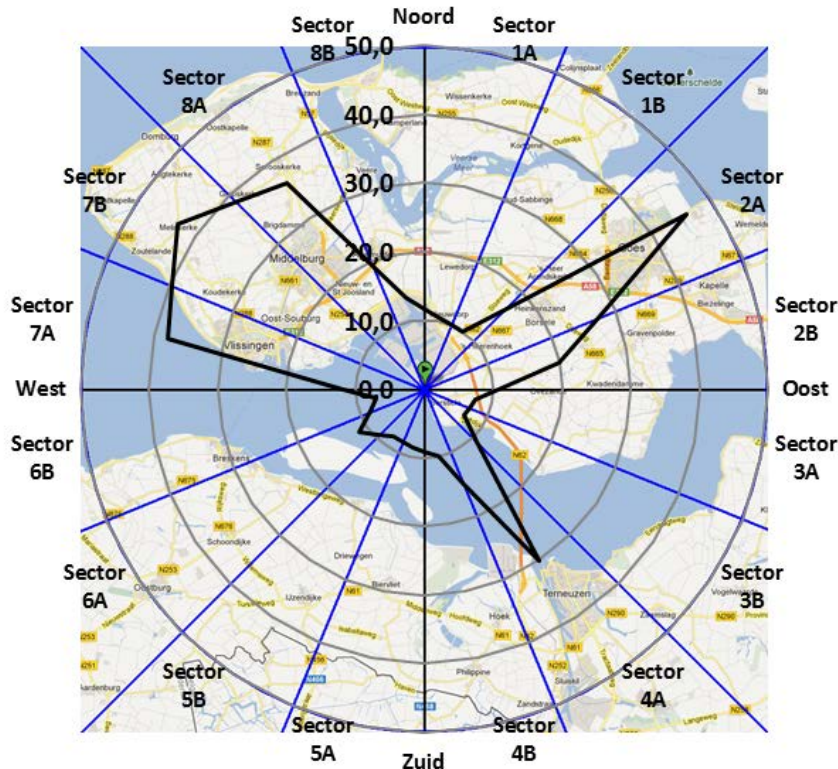
4 Vestigingsplaats

versie 1

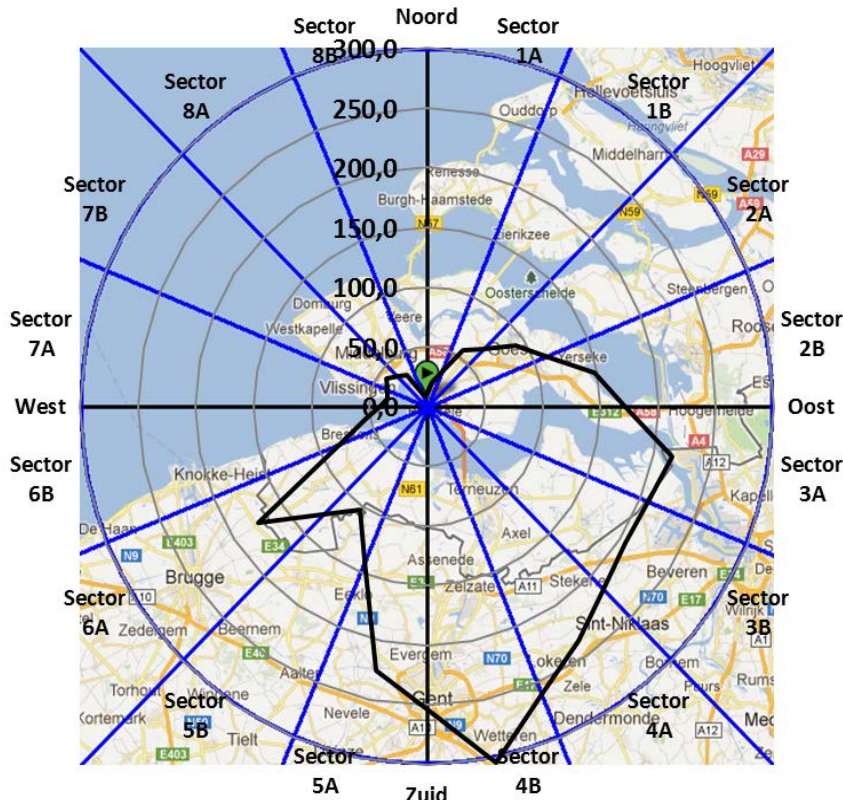
Terneuzen	4A	12,9	23.230	Duno	8A	20,0	45
Spui	4A	18,6	215	Arnemuiden	8A/ 8B	8,5	5.155
Sluiskil	4A	19,0	2.280	Breezand	8A/ 8B	18,6	30
Hoek	4B	14,0	2.440	Oranjeplaat	8B	8,8	55
Philippine	4B	16,7	1.900	Kleverskerke	8B	10,5	80
Zandstraat	4B	19,6	255	Zanddijk	8B	12,8	855
Boekhoute	4B/ 5A	19,2	2.120	Veere	8B	13,5	550
Biervliet	5A	11,6	1.300	Buiten de Veste	8B	14,0	105
Driewegen	5A/ 5B	10,6	85	Kamperland	8B	15,6	1.605

Tabel 4.7/3 Verdeling werknemers over sectoren

Sector	Aantal werknemers	Sector	Aantal werknemers
1	1.004	5	0
2	204	6	0
3	0	7	346
4	0	8	2.619
		Totaal	4.173



Figuur 4.7/1 Verdeling van de bevolking inclusief toeristen en werknemers (x1000) binnen de 20 km zone (stand 1 januari 2011)



Figuur 4.7/2 Verdeling van de permanente bevolking (x1000) binnen een straal van 50 km (stand 1 januari 2011)

4.8 RADIOLOGISCHE INVLOEDEN VAN BUITENAF

De naastliggende industrie veroorzaakt geen significante stralingsbelasting. Wel is het mogelijk dat deze industrie, door het uitvoeren van niet destructief onderzoek (NDO) een tijdelijke verhoging van het dosistempo veroorzaakt. Op dit moment is geen industrie aanwezig die grondstoffen gebruikt die in combinatie met het productieproces de stralingsbelasting beïnvloedt.

Het monitoringsysteem wat hierover informatie geeft is het systeem waarmee ook de gevolgen van de emissies worden bepaald.

4.9 OMGEVINGSASPECTEN M.B.T. HET ALARMPLAN

Het Alarmplan van de kernenergiecentrale (zie hoofdstuk 12) is gebaseerd op een risicoanalyse en een daarop gebaseerde set maatgevende alarmresponsscenario's bij gepostuleerde incidenten.

Aan de hand van deze scenario's wordt vastgesteld welke mensen, middelen en methodes in totaliteit nodig zijn om in geval van daadwerkelijk optreden elk van de gepostuleerde incidenten adequaat het hoofd te bieden.

Op identieke wijze wordt ook per scenario bepaald wat er aan mensen en middelen aan- en afgevoerd moet worden en welke informatie er moet worden uitgewisseld om het gepostuleerde incident te beheersen en terug te keren tot een stabiele, gecontroleerde bedrijfssituatie. Hieruit volgen tevens eisen die worden gesteld aan externe schuilplaatsen, externe voorraden, infrastructuur zoals wegen- en communicatienetwerken en aan externe transportmiddelen.

In de maatgevende alarmresponsscenario's wordt ervan uitgegaan dat:

- personeel moet worden geëvacueerd;
- personeel en hulpverleners moeten worden aan- en afgevoerd;
- hulpgoederen, waaronder stroomaggregaten, brandstof, pompen, reparatiemateriaal en voedingsmiddelen moeten worden aangevoerd;
- telefoon- en internetverkeer mogelijk blijft.

Bij de noodzakelijke aan- en afvoer van mensen en middelen tijdens noodsituaties wordt er op de volgende infrastructuur gerekend:

- wegen en waterwegennet;
- waterleidingen, bestaande uit:
 - o drinkwaterleiding;
 - o industriewaterleiding;
- telefoonnetwerk, bestaande uit:
 - o nationaal noodnet;
 - o vaste telefoonlijnen (ook voor ontvangst televisiesignalen);
 - o GSM-verbinding;
- internet, bestaande uit:
 - o vaste telefoonlijnen voor procesdata-overdracht;
 - o vaste lijn naar de internetprovider;
- satellietverbinding (backupvoorziening voor spraak en data (ook televisie)).

De ligging aan bevaarbaar water, een ontsluitingsmogelijkheid via de weg in twee tegenoverliggende windrichtingen (noordoost en zuidwest) en de mogelijkheid om via de lucht aan en af te voeren, maakt dat er gezien de maatgevende scenario's voldoende aan- en aftransportmogelijkheden zijn.

Voor wat betreft de communicatienetwerken (telefoon (waaronder ook het nationale noodnet) en internet) wordt de slechtst denkbare situatie gepostuleerd, namelijk dat al deze kanalen onbruikbaar zijn. Voor dat geval zijn er twee telefooncentrales voor satellietverkeer (een mobiel en een vast opgesteld) en een losse satelliettelefoon beschikbaar, waarmee telefoon- en internet te benaderen zijn. Ook fax-verkeer is via deze centrales mogelijk.

Met betrekking tot voorzieningen die in bepaalde scenario's noodzakelijk zijn, te denken valt aan aanvoer van dieselolie en extra dieselaggregaten, zijn afspraken gemaakt met externe ondernemingen qua levering op afroep.

INHOUDSOPGAVE

5.	ONTWERPPRINCIPES	5-3
5.1	VEILIGHEIDSDOELSTELLINGEN EN ONTWERPPRINCIPES	5-3
5.1.1	Doelstellingen van de bescherming	5-3
5.1.2	“Defence-in-depth”-concept	5-4
5.1.3	Deterministische ontwerpprincipes en –criteria	5-7
5.1.3.1	Inherent veilige eigenschappen.....	5-7
5.1.3.2	Passieve veiligheidsvoorzieningen (barrièreconcept).....	5-7
5.1.3.3	Actieve veiligheidsvoorzieningen.....	5-9
5.1.4	Veiligheidstechnische ontwerpprincipes	5-11
5.1.4.1	Redundantie	5-11
5.1.4.2	Diversiteit	5-12
5.1.4.3	Ruimtelijke scheiding en bouwkundige bescherming.....	5-12
5.1.4.4	Fail-safe-principe	5-13
5.1.4.5	Principe van “Lek-voor-Breuk”.....	5-13
5.1.4.6	Geautomatiseerde ongevalsbeheersing.....	5-13
5.1.4.7	Stralingsbescherming.....	5-13
5.1.5	Veiligheidsfuncties	5-13
5.2	OVEREENSTEMMING MET ONTWERPPRINCIPES EN CRITERIA	5-15
5.3	BESTENDIGHEID TEGEN INTERNE BELASTINGEN	5-16
5.3.1	Specificatie van de bij het ontwerp veronderstelde belastingstoestanden ..	5-16
5.3.2	Belastingscategorieën.....	5-17
5.3.3	Bewaking vermoeiingsontwerp	5-17
5.4	BEDRIJFSDUUR KCB	5-20
5.5	KLASSERING VAN STRUCTUREN, SYSTEMEN EN COMPONENTEN	5-21
5.5.1	Veiligheidsklassering van structuren, systemen en componenten	5-21
5.5.1.1	Inleiding	5-21
5.5.1.2	Klasseringsproces	5-21
5.5.1.3	Werktuigbouwkundige componenten en systemen.....	5-21
5.5.1.4	Elektrotechnische en instrumentatiecomponenten en -systemen	5-23
5.5.1.5	C-Veiligheidsklassering	5-24
5.5.2	Seismische klassering	5-25
5.5.2.1	Aardbevingsbestendige installatiedelen van klasse I	5-25
5.5.2.2	Aardbevingsbestendige installatiedelen van klasse II	5-26
5.6	BOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES	5-27
5.6.1	Gebouwen die bestand zijn tegen invloeden van buitenaf	5-30
5.6.1.1	Reactorgebouw (01/02)	5-30
5.6.1.2	Reservesuppletiegebouw (33).....	5-38
5.6.1.3	Reserveregelzaalgebouw (35)	5-40
5.6.2	Andere gebouwen en bouwkundige constructies	5-41
5.6.2.1	Reactorhulpgebouw en ventilatieschacht (03/13)	5-41
5.6.2.2	Machinegebouw (04)	5-42
5.6.2.3	Schakelgebouw (05).....	5-45
5.6.2.4	Dienstgebouw (06)	5-46
5.6.2.5	Noodstroomdieselgebouwen I en II (10/72)	5-46
5.6.2.6	Deminwateraanmaakgebouw (09)	5-49
5.6.2.7	Afvalopslaggebouw (34)	5-49
5.6.2.8	Koelwatervoorzieningen in de gebouwen 20, 21, 22, 23 en 24 ...	5-51
5.6.2.9	Overige gebouwen (07, 08, 14, 15, 16, 32, 48, 49, 65, 77 en 78)	5-52
5.7	KWALIFICATIE VAN APPARATUUR	5-53
5.8	MENS-MACHINE-RELATIE	5-54
5.8.1	Uitgangspunten voor het ontwerp.....	5-54
5.8.2	Organisatorische voorzieningen	5-55
5.9	BESTENDIGHEID TEGEN INVLOEDEN VAN BINNENUIT	5-57
5.9.1	Veronderstelde lekkages	5-57
5.9.1.1	Definities.....	5-57

	5.9.1.2	Gevolgen van veronderstelde lekkages	5-57
	5.9.1.3	Faalwijzen in hoogenergetische pijpleidingen > DN 50	5-59
	5.9.1.4	Faalwijzen in hoogenergetische pijpleidingen ≤ DN 50	5-59
	5.9.1.5	Faalwijzen in 2 %-systemen	5-59
	5.9.1.6	Faalwijzen in laagenergetische systemen	5-59
	5.9.2	Principe van "Lek-voor-breek"	5-59
	5.9.3	Beveiliging tegen het falen van hoogenergetische leidingen	5-61
	5.9.4	Ontwerp van de mechanische en elektrotechnische componenten ten aanzien van de omgevingscondities	5-61
	5.9.5	Beveiliging tegen overstromingen binnen de installatie	5-62
	5.9.6	Beveiliging tegen weggeslingerde brokstukken	5-63
	5.9.7	Beveiliging tegen brand en explosies binnen de installatie	5-66
	5.9.7.1	Beveiliging tegen brand	5-66
	5.9.7.2	Beveiliging tegen explosies	5-67
5.10		BESTENDIGHEID TEGEN INVLOEDEN VAN BUITENAF	5-69
	5.10.1	Aardbevingen	5-69
	5.10.2	Vliegtuigval	5-69
	5.10.3	Explosiedruk golf	5-70
	5.10.4	Windbelastingen	5-70
	5.10.5	Overstroming	5-70
	5.10.6	Andere invloeden van buitenaf	5-70
	5.10.7	Aantonen van de bestendigheid tegen invloeden van buitenaf	5-71
	5.10.7.1	Bouwkundige constructies	5-71
	5.10.7.2	Systemen en componenten	5-73
	5.10.7.3	Elektrotechnische installaties en meet- en regelsystemen	5-74

5. ONTWERPPRINCIPES

5.1 VEILIGHEIDSDOELSTELLINGEN EN ONTWERPPRINCIPES

5.1.1 Doelstellingen van de bescherming

Aangezien er bij kernsplijting ioniserende straling vrijkomt en radioactieve stoffen worden gevormd, dienen er maatregelen getroffen te worden ter bescherming van omgeving en personeel. Het doel van deze bescherming is de hoeveelheid ioniserende straling op zo laag als redelijkerwijs mogelijke waarden te houden en de radioactieve stoffen veilig in te sluiten. In ieder geval mogen de geldende limietwaarden niet overschreden worden.

De doelstelling van de bescherming dient niet alleen tijdens normaal bedrijf, maar ook in geval van storingen of ongevallen gehandhaafd te worden.

Bij normaal bedrijf wordt de centrale bedreven binnen gespecificeerde bedrijfslimieten en -condities, en omvat het uit bedrijf zijn, opstarten, vermogensbedrijf, afschakelen, onderhoud, testen en splijtstofwisselen. Onder een storing worden alle bedrijfstoestanden gerekend, die afwijken van normaal bedrijf en waarvan verwacht kan worden dat ze eens of enkele malen gedurende de bedrijfsperiode van de centrale kunnen optreden. Als gevolg van voorzieningen in het ontwerp veroorzaken deze toestanden geen wezenlijke schade aan veiligheidsrelevante onderdelen en leiden zij niet tot een ongeval. Met een ongeval worden afwijkingen van normaal bedrijf of storingen bedoeld, waarbij de afgifte van radioactieve stoffen binnen acceptabele limieten blijft.

Een ontwerpongeval is een ongeval, waartegen de kernenergiecentrale is ontworpen overeenkomstig bepaalde ontwerpcriteria. Een buiten-ontwerpongeval is een ongeval dat verder gaat dan een ontwerpongeval, waarbij een overschrijding van criteria geaccepteerd wordt zolang er geen sprake is van significante kernbeschadiging. Een ernstig ongeval is een ongeval, waar tegen de kernenergiecentrale niet ontworpen is en waarbij significante kernbeschadiging optreedt.

Om de bovengenoemde doelstelling ten aanzien van de bescherming te realiseren dienen drie daarvan afgeleide technische beschermingsdoelstellingen gewaarborgd te zijn:

- beheersen van de kritikaliteit;
- afvoer van warmte van de reactor en de splijtstofopslag;
- insluiting van radioactief materiaal, afscherming van straling en beheersing/beperking van radiologische lozing (normaal bedrijf/ongevallen).

Om dit te bereiken wordt een getrappt veiligheidsconcept met meerdere veiligheidsniveaus toegepast, het zogeheten "Defence-in-depth"-concept.

5.1.2 “Defence-in-depth”-concept

Het “Defence-in-depth”-concept bestaat uit een uitgebalanceerde combinatie van maatregelen ter voorkoming van storingen en ongevallen, die met voorrang getroffen dienen te worden, en uit maatregelen die specifiek dienen ter beheersing van ongevallen (ontwerpongevallen). Aanvullende maatregelen zijn genomen zowel ter beheersing van ongevallen (ontwerp- en buiten-ontwerpongevallen) als ter beperking van de gevolgen ervan (ontwerp- en buiten-ontwerpongevallen alsmede ernstige ongevallen), de zogenoemde Accident Management (AM) maatregelen.

Het “Defence-in-Depth”-concept bestaat uit de volgende veiligheidslagen:

- 1: Voorkomen van storingen;
- 2: Detectie en beheersen van storingen;
- 3: Beheersen van ongevallen;
- 4: Mitigeren van de gevolgen van ongevallen die de derde veiligheidslaag overstijgen;
- 5. Mitigeren van de gevolgen van radiologische lozingen ten gevolg van ongevallen.

De eerste veiligheidslaag: "voorkomen van storingen"

Op het niveau van het normaal bedrijf (veiligheidsniveau 1) wordt door de kwaliteit van ontwerp en fabricage alsmede door een zorgvuldige bedrijfsvoering gestreefd naar een goede beschikbaarheid. Uit het oogpunt van veiligheid is dit in zoverre van belang, dat hierdoor impliciet het optreden van storingen en ongevallen wordt vermeden.

In de praktijk is gebleken, dat het foutief functioneren van delen van de installatie of van systemen, waardoor storingen ontstaan, desondanks tijdens de levensduur van een installatie niet is uit te sluiten. Voorbeeld is het uitvallen van componenten, zoals het uitvallen van een pomp in het reactorkoelsysteem.

De tweede veiligheidslaag: "detectie en beheersen van ongevallen"

Om storingen te kunnen detecteren en te beheersen (veiligheidsniveau 2) worden de systemen dusdanig ontworpen, en worden er zodanige maatregelen op het gebied van de bedrijfsvoering en bedrijfsbewaking getroffen, dat dergelijke storingen zich niet kunnen ontwikkelen tot ongevallen. Na het elimineren van de storingsoorzaak is een verder bedrijf van de centrale zonder meer mogelijk.

Bij de voorvallen die onder de eerste twee veiligheidsniveaus thuishoren, worden de hiervoor geldende dosislimietwaarden niet overschreden. Onder deze veiligheids-niveaus vallen normaal bedrijf, storingen alsook onderhoudswerkzaamheden.

De derde veiligheidslaag: "beheersing van ongevallen"

Op het derde veiligheidsniveau is de centrale zó ontworpen, dat ongevallen worden beheerst (ontwerpongevallen) en dat geen uitbreiding van het ongeval plaatsvindt, of dat geen gevolgschade die leidt tot andere ongevallen kan ontstaan. De ontwerp-ongevallen zijn dusdanig gedefinieerd, dat zij steeds qua ernst afdekkend zijn voor een groep min of meer vergelijkbare gebeurtenissen. Deze ontwerpongevallen worden met inachtneming van de hiervoor geldende dosis-criteria beheerst.

De voorzieningen die dienen om ongevallen te kunnen beheersen, bestaan deels uit passieve systemen. Hiermee worden voorzieningen bedoeld, die voor het vervullen van hun veiligheidsfunctie niet afhankelijk zijn van signaleringen of toevoer van energie, maar die louter door hun aanwezigheid hun werk doen. Daarnaast zijn er actieve veiligheidsvoorzieningen, bijvoorbeeld pompen, die door het reactor-beveiligingssysteem gecontroleerd en, indien noodzakelijk, geactiveerd worden.

De vierde veiligheidslaag: "mitigeren van ongevallen die de derde veiligheidslaag overstijgen"
In aanvulling op de maatregelen ter voorkoming en beheersing van ongevallen worden op het vierde veiligheidsniveau maatregelen genomen, die de gevolgen van gebeurtenissen mitigeren en die op grond van hun geringe waarschijnlijkheid geen ontwerpgevallen zijn. De belangrijkste doelstelling van deze veiligheidslaag is de insluitfunctie te waarborgen, waardoor de radiologische lozingen naar de omgeving zo laag als praktisch mogelijk gehouden worden. Bij deze gebeurtenissen wordt voldaan aan de risicocriteria zoals vastgelegd in het Nederlandse risicobeleid.

De vijfde veiligheidslaag: "mitigeren van de gevolgen van radiologische lozingen ten gevolge van ongevallen"

Op het vijfde veiligheidsniveau worden maatregelen genomen, om de gevolgen van radiologische lozingen ten gevolge van ongevallen voor de omgeving te mitigeren. Dit vereist de beschikbaarheid van adequate alarmrespons-accommodaties, -middelen en –procedures voor het nemen van adequate on- en off-site maatregelen (zie paragraaf 12.1).

Tot de gebeurtenissen van de vierde (en vijfde) veiligheidslaag worden gerekend:

- buitenontwerp ongevallen zoals bedrijfstransiënten, waarbij men het uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling (ATWS) aanneemt of een brand in de installatie die verder reikt dan één brandzone.;
- voorvallen binnen de installatie, die op grond van systeemstoringen die de ontwerpcriteria overschrijden, zouden kunnen leiden tot het smelten van de kern.

Met betrekking tot de maatregelen voor deze noodsituaties onderscheidt men:

- o preventieve noodmaatregelen, die op het voorkomen van het smelten van de kern en/of radiologische lozingen zijn gericht;
- o mitigerende noodmaatregelen, die bedoeld zijn om de gevolgen van kernsmeltongevallen en/of radiologische lozingen te verminderen.

Het gaat bij de aangebrachte voorzieningen en getroffen maatregelen om individuele maatregelen, die specifiek toegesneden zijn op de veronderstelde gebeurtenissen. Hierbij wordt de technische inspanning afgewogen tegen de te behalen veiligheidswinst.

Veiligheidslaag	Maatregelen
1. Voorkomen van storingen Normaal bedrijf	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veiligheid als onderdeel van ontwerp en bouw ▪ Kwaliteitsborging en -controle ▪ Periodieke beproevingen ▪ Bewaking van de bedrijfstoestanden ▪ Inspectie en onderhoud ▪ Opleiding van het bedrijfs personeel
2. Beheersing van ongevallen Storingen	Opvangen van anomale bedrijfstoestanden, om uitbreiding van storingen te verhinderen, door: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Veiligheidsgericht ontwerp (zelfregelend gedrag) ▪ Beveiligings- en begrenzingsregelingen ▪ Storingsmeldingen bij de Wacht
3. Beheersing van ongevallen Ontwerpongevallen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Passieve veiligheidsvoorzieningen als barrières tegen het uittreden van radioactieve stoffen of straling: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kristalrooster van de splijtstof / splijtstofomhulling ▪ Drukvoerende ommanteling van het reactor koelmiddel ▪ Betonnen afscherming / stalen veiligheidsomhulling ▪ Betonnen reactorgebouw met grondwaterisolatie 2. Actieve veiligheidsvoorzieningen ter handhaving van de integriteit van de barrières. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ontwerpprincipes: <ul style="list-style-type: none"> - Redundantie - Diversiteit - Ruimtelijke scheiding - Fail-safe principe - Automatisering ▪ Regelend systeem: Reactorbeveiligingssysteem ▪ Aangestuurde systemen, bijvoorbeeld: <ul style="list-style-type: none"> - Reactorsnelafschakeling (RESA) - Kerninundatie- en nakoelsysteem - Gebouwisolatiesysteem - Noodstroomvoorzorging
4. Mitigreren van ongevallen die de derde veiligheids-laag overstijgen Ongevallen met geen of beperkte radiologische lozing naar de omgeving	Bij zeldzame gebeurtenissen door: <ul style="list-style-type: none"> ▪ bouwtechnische beveiliging ▪ inzet van reservesystemen ▪ gebruik van veiligheidsreserves ▪ preventieve noodmaatregelen ter voorkoming van kernsmelten (bijvoorbeeld <i>bleed & feed</i>) ▪ mitigerende noodmaatregelen ter beperking van de gevolgen van kernsmelten (bijvoorbeeld drukontlasting van de veiligheidsomhulling, H₂-recombinatie)
5. Mitigreren van de gevolgen van radiologische lozingen ten gevolg van ongevallen Ongevallen met significante radiologische lozing naar de omgeving	Adequate alarmresponsorganisatie op het kernenergiecentraal terrein: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Technische middelen (huisvesting, apparatuur, brandstof, levensmiddelen, etc.) ▪ Organisatorische middelen (organogram, taakbeschrijvingen, etc.) ▪ Personele middelen (individuele kwalificaties, kwantiteit, etc.) ▪ Administratieve middelen (alarmresponsprocedures en -instructies) Adequate externe alarmresponsorganisatie (zie onder): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nationaal Crisisplan Stralingsincidenten ▪ Rampenbestrijdingsplan Nucleaire Installaties

Figuur 5.1.2/1 Veiligheidsvoorzieningen – schema

5.1.3 Deterministische ontwerpprincipes en –criteria

5.1.3.1 Inherent veilige eigenschappen

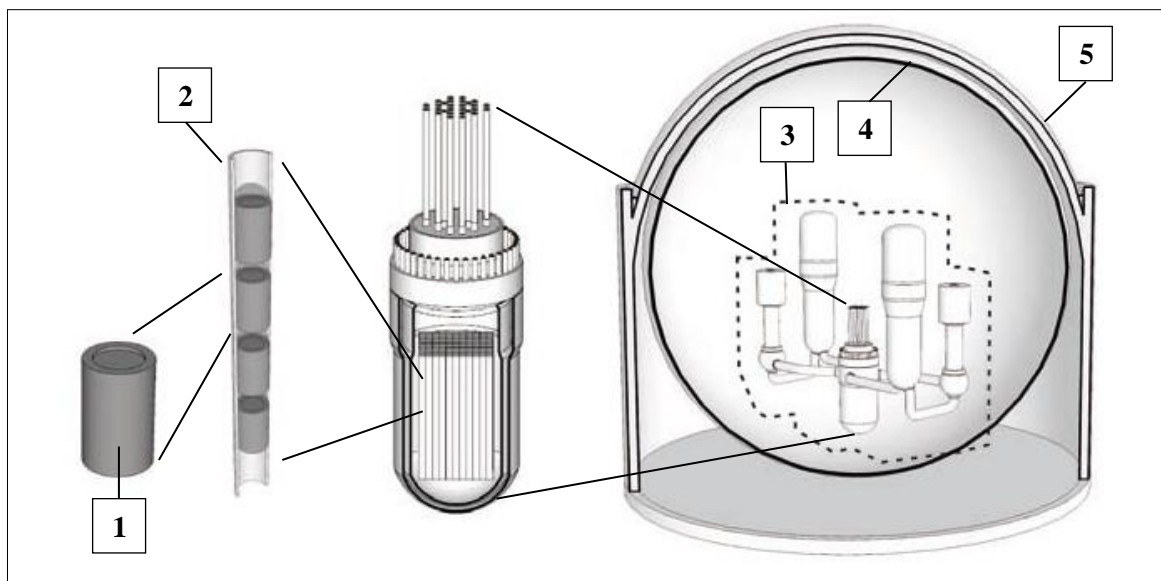
Een reactor van het type als de kernenergiecentrale Borssele bezit inherent veilige eigenschappen daar het gedrag van de reactor zodanig is dat bij een (ongewenste) toename van het aantal kernsplijtingen deze door fysische processen die zich in de reactor afspelen geheel of gedeeltelijk wordt gecompenseerd.

Zo zal bij een temperatuurverhoging van het koelmiddel als gevolg van een (ongewenste) toename van het aantal kernsplijtingen, de dichtheid van het koelmiddel afnemen wat leidt tot een automatische vermindering van het aantal kernsplijtingen.

Bovendien zal een (ongewenste) toename van het aantal kernsplijtingen aanleiding geven tot een toename van de splijtstoftemperatuur waardoor verlies van neutronen zal optreden als gevolg van niet tot kernsplijting aanleiding gevende absorpties in de splijtstof. Ook laatstgenoemde proces zal leiden tot een automatische vermindering van het aantal kernsplijtingen.

5.1.3.2 Passieve veiligheidsvoorzieningen (barrièreconcept)

Het veilig insluiten van de radioactiviteit die tijdens de kernsplijting ontstaat, wordt gerealiseerd met behulp van een systeem van meerdere, in hun werking achter elkaar geschakelde barrières (figuur 5.1.3/1).



1	Splijtstof	4	Veiligheidsomhulling
2	Splijtstofomhulling	5	Secundaire afscherming
3	Primaire systeem		

Figuur 5.1.3/1 Insluiting van radioactiviteit: Barrières – overzichtschematische afbeelding -

1. Splijtstof

De eerste barrière wordt door de splijtstof zelf gevormd. De splijtingsproducten die bij de kernsplijting ontstaan, komen grotendeels op vrije plaatsen van het kristalrooster van de splijtstof terecht en worden daar vastgehouden. De splijtstof lost niet in water op en behoudt haar insluitende functie ook

dan, wanneer zij door beschadiging van een splijtstofstaaf met het hoofdkoelmiddel in aanraking zou komen.

2. Splijtstofomhulling

Slechts een gering gedeelte van de gasvormige en vluchtige splijtingsproducten kan uit het kristalrooster ontsnappen. Om te zorgen dat dit gedeelte niet in het hoofdkoelmiddel terecht komt, wordt de splijtstof in de vorm van tabletten in splijtstofhulzen van zircaloy (een speciale legering op basis van zirkonium) aangebracht. Deze hulzen worden vervolgens gasdicht dichtgelast en vormen op deze wijze de tweede barrière.

De kern van de reactor bestaat uit circa 25.000 van zulke splijtstofstaven. Ondanks een uiterst zorgvuldige fabricage en een nauwgezette beproeving, kunnen enkele splijtstofstaven tijdens het bedrijf gaan lekken. Het ontwerp van de reactor laat echter toe dat het bedrijf desondanks veilig doorgang kan vinden. Met de koelmiddelreiniging en -ontgassing wordt namelijk de concentratie van radioactieve stoffen in het hoofdkoelmiddel op een laag niveau gehouden.

3. Primair systeem

De "drukvoerende begrenzing" van het hoofdkoelmiddel voorkomt dat in het hoofdkoelmiddel aanwezige radioactieve stoffen naar de veiligheidsomhulling ontsnappen. Met drukvoerende begrenzing van het hoofdkoelmiddel bedoelt men het reactorvat, de hoofdkoelmiddelvoerende delen van de stoomgeneratoren, de drukhouder, de hoofdkoelmiddelpompen en de verbindende pijpleidingen (primair systeem). Deze componenten moeten bestand zijn tegen de hoge druk van het hoofdkoelmiddel en vormen daardoor een derde barrière tegen het vrijkomen van radioactiviteit.

4. Veiligheidsomhulling

Opdat ook in geval van veronderstelde lekkages van het reactorkoelsysteem geen radioactiviteit ongecontroleerd in de omgeving terecht kan komen, wordt het complete reactorkoelsysteem gasdicht omsloten door een stalen bol, de veiligheidsomhulling. Als laatste barrière dient deze omhulling ook nog te functioneren, wanneer alle andere barrières zouden bezwijken. Dat wil dus zeggen, dat de veiligheidsomhulling is ontworpen voor een ongeval waarbij het grootst mogelijke verlies van hoofdkoelmiddel met uitdamping van het reactorkoelsysteem optreedt.

5. Secundaire afscherming

De veiligheidsomhulling wordt aanvullend door een omhulling van gewapend beton (secundaire afscherming) omsloten. Deze laatste omhulling zorgt voor de afscherming van de radioactieve stoffen en beschermt de reactor tegen invloeden van buitenaf.

Met behulp van de ventilatievoorzieningen wordt in de verschillende ruimten binnenin het reactorgebouw een van buiten naar binnen toenemende onderdruk in stand gehouden. Daardoor kunnen slechts naar binnen gerichte lekkages optreden en kan er geen radioactiviteit ongecontroleerd in het milieu terechtkomen. De afgezogen lucht wordt door uiterst effectieve filtersystemen geleid, voordat zij naar de ventilatieschacht wordt gevoerd.

De integriteit van de barrières die de radioactiviteit dienen tegen te houden, wordt bewaakt door het constant meten van de radioactiviteit in de verschillende kringlopen en ruimten. De verschillende barrières worden bovendien periodiek op hun goede staat gecontroleerd.

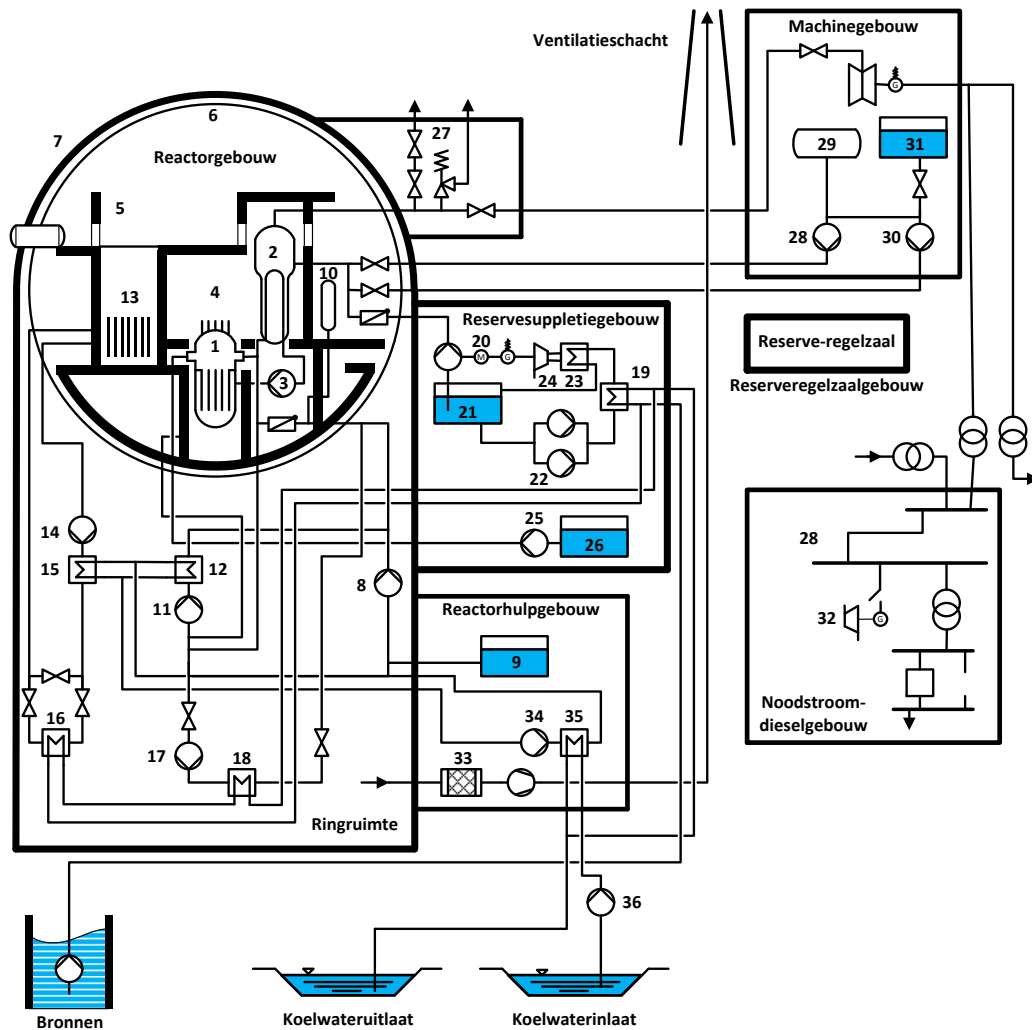
Naast barrières voor het tegenhouden van radioactiviteit en ter bescherming tegen invloeden van buitenaf, bestaan er nog barrières om de directe straling, die voornamelijk van de reactorkern afkomstig is, af te schermen. Deze barrières zijn uitgevoerd als dikke betonwanden. Ook de stalen mantel van het reactorvat zelf vormt een effectief schild tegen straling. De tijdens normaal bedrijf naar buiten tredende directe straling is zó gering, dat zij buiten het reactorgebouw niet gemeten kan worden, mede vanwege de aanwezige natuurlijke achtergrondstraling.

5.1.3.3 Actieve veiligheidsvoorzieningen

De doelmatigheid van de beschreven splijtingsproduct- en stralingsbarrières moet tijdens normaal bedrijf, in geval van storingen en ook bij ontwerpongevallen in zoverre gehandhaafd blijven, dat er geen ontoelaatbare radioactiviteit in het milieu terecht kan komen en dat er geen ontoelaatbare stralingsbelasting voor het milieu kan optreden.

Daarom zijn enerzijds de barrières voor de tijdens genoemde ongevallen optredende belastingen ontworpen en zijn er anderzijds actieve veiligheidsvoorzieningen (technische systemen) ter bescherming van de barrières aanwezig (zie figuur 1.4/3). Belangrijke voorbeelden zijn:

	<u>Paragraaf</u>
reactorsnelafschakelingsysteem (regelementen)	6.2.8
afsluiters van het reactorkoelsysteem	6.2.1
afsluiting van de veiligheidsomhulling	6.3.1
afzuiging van de ringruimte	6.3.2
kerninundatie- en nakoelsysteem	6.3.3
primair reserve suppletiesysteem	6.3.4
reserve koelketen	6.3.5
noodvoedingswatersysteem	6.3.7
secundair reserve suppletiesysteem	6.3.8
hoofdstoomafblaasstation	6.3.9
reactorbeveiligingsysteem	6.4.2
noodstroomvoorzieningen	6.5
nood- en nevenkoelwatersysteem	6.6.2
nucleair tussenkoelwatersysteem	6.6.1



1	Reactorvat YC	21	Vorraadbassin deminwater RS
2	Stoomgenerator YB	22	Circulatiepomp RS
3	Hoofdkoelmiddelpomp YD	23	Dieselkoelers RS
4	Regelelementen	24	Noodstroomdieselaggregaat (net 2) EY
5	Veiligheidscilinder	25	Primaire reservesuppletiepomp TW
6	Veiligheidsomhulling	26	Vorraadbassin geboreerd water TW
7	Secundaire afscherming	27	Hoofdstoomafblaasstation RA
8	Kerninundatiepomp (HD) TJ	28	Hoofdvoedingswaterpomp RL
9	Kerninundatievoorraadtank TJ	29	Voedingswatertank RL
10	Kerninundatiebuffertank TJ	30	Noodvoedingswaterpomp RL
11	Nakoelpomp (LD) TJ	31	Deionaatbekken RZ
12	Nakoeler TJ	32	Noodstroomdieselaggregaat (net 1) EY
13	Splijstofopslagbassin (SOB)	33	Ringruimteafzuiging TL
14	SOB-koelpomp TG	34	Tussenkoelpomp TF
15	SOB-koeler TG020	35	Tussenkoeler TF
16	Reserve SOB-koeler TG080	36	Nood- en nevenkoelwaterpomp VF
17	Reserve nakoelpomp TE		
18	Reserve nakoeler TE		
19	Reserve tussenkoeler RS		
20	Secundaire reserve suppletiepomp RS		

tegen externe invloeden beschermde gebouwen (beveiligde zone)

Figuur 5.1.3/2 Veiligheidsvoorzieningen – schema

Het vrijkomen van grotere hoeveelheden radioactiviteit is denkbaar in geval van beschadiging van de eerste twee barrières door oververhitting als gevolg van een ontoelaatbare stijging van het reactorvermogen of het wegvallen van de koeling (met name door verlies van koelmiddel).

Het ontwerp van de actieve veiligheidsvoorzieningen is daarom gebaseerd op de eis, dergelijke situaties te beheersen, dat wil zeggen om in de eerste plaats de reactor altijd veilig te kunnen afschakelen en de afvoer van de restwarmte te kunnen waarborgen.

Teneinde de vereiste grote betrouwbaarheid van de veiligheidsvoorzieningen te bereiken, worden bij het ontwerp van de systemen verschillende veiligheidstechnische ontwerpprincipes voor de beheersing van mogelijke fouten en storingen toegepast, hetzij alléén of in combinatie met elkaar, afhankelijk van de technische eisen.

5.1.4 Veiligheidstechnische ontwerpprincipes

5.1.4.1 Redundantie

Het enkelvoudig falen dat toevallig optreedt, bijvoorbeeld het toevallig niet functioneren van een pomp wanneer deze wordt aangesproken, wordt door toepassing van het redundantieprincipe opgevangen. Redundantie betekent meervoudige uitvoering, wat wil zeggen dat van belangrijke componenten en systemen er meer worden geïnstalleerd, dan voor het uitvoeren van een bepaalde veiligheidsfunctie minimaal nodig zijn. Een voorbeeld van de toepassing van het redundantieprincipe is het kerninundatie- en nakoelsysteem, dat geheel in twee gescheiden strangen is uitgevoerd en waarin bepaalde actieve componenten per strang tweevoudig aanwezig zijn. Het principe van de redundantie beveiligt zodoende tegen het optreden van enkelvoudig falen.

Met betrekking tot het ontwerp van de veiligheidssystemen wordt het veronderstellen van enkelvoudig falen geëist. Dit wil zeggen dat bij de te veronderstellen ontwerpongevallen in aansluiting daarop het enkelvoudig falen in de veiligheidssystemen moet worden verondersteld. De mogelijkheid van een dergelijke fout wordt fundamenteel bij actieve en in een latere fase van het ongevalsverloop bij passieve veiligheidssystemen verondersteld.

Actief enkelvoudig falen wordt gedefinieerd als het uitvallen of onterecht starten van een component, die voor het uitoefenen van zijn specifieke functie een bepaalde actie dient uit te voeren.

Passief enkelvoudig falen wordt gedefinieerd als het uitvallen van een mediumhoudend deel. Het optreden van een dergelijk falen wordt op grond van de kwaliteitseisen die gehanteerd worden bij het ontwerp, de fabricage, inspectie en onderhoud van deze componenten echter pas in een later stadium van het ongevalsverloop verondersteld.

Enkelvoudig falen bij ontwerpongevallen

Voor ontwerpongevallen wordt enkelvoudig falen in de veiligheidssystemen verondersteld. Dit leidt voor de veiligheidssystemen tot een zogenaamd "(n + 1)-ontwerp" (n = aantal voor het uitoefenen van een functie noodzakelijke redundanties). Zo is bijvoorbeeld het secundair reservesuppletiesysteem (zie paragraaf 6.3.8) in twee gescheiden strangen uitgevoerd. Elk van de twee strangen is op zich in staat de veiligheidstaken van het systeem volledig uit te voeren. Een verondersteld enkelvoudig falen in één strang wordt zodoende beheerst. Indien een veiligheidssysteem slechts enkelvoudig is uitgevoerd dan moet het ontwerpongeval ook door een ander veiligheidssysteem beheerst kunnen worden. In een dergelijk geval wordt gesproken van een diversitair veiligheidssysteem.

Enkelvoudig falen bij zeldzame voorvallen

Tot de zeldzame voorvallen worden gerekend invloeden van buitenaf (een aardbeving, het neerstorten van een vliegtuig, een drukgolf als gevolg van een explosie), alsmede invloeden van binnenuit met een geringe waarschijnlijkheid die meerdere systemen gelijktijdig beïnvloeden (bijvoorbeeld een systeemoverschrijdende brand) en andere invloeden van binnenuit met een geringe waarschijnlijkheid (bijvoorbeeld ATWS).

Bij dergelijke voorvallen is de eis tot beheersing van enkelvoudig falen alleen van toepassing op systemen en componenten die een functie vervullen bij het bereiken van een veilige toestand van de installatie op korte termijn. Het gaat hierbij om functies als snelle afschakeling van de reactor, afsluiting van de primaire kringloop, suppletie via het primaire reserve suppletiesysteem in geval van lekkage, afsluiting van het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem in geval van leidingbreuk buiten de secundaire afscherming, voeding van de stoomgeneratoren via het secundaire reserve suppletiesysteem, afblazen van hoofdstoom.

Op systemen die pas na een langere termijn hoeven te worden ingeschakeld om een veilige toestand van de installatie te verzorgen, zoals het splijtstofopslagbassinkoelsysteem en de reserve koelketen, wordt enkelvoudig falen niet verondersteld. Eventuele reparaties of maatregelen ter vervanging zijn echter mogelijk, omdat daarvoor gelegenheid is gedurende deze langere termijn.

Enkelvoudig falen tijdens onderhoudswerkzaamheden

Door beperking van de tijdsduur van onderhouds- en reparatiewerkzaamheden hoeft het optreden van enkelvoudig falen tijdens deze werkzaamheden niet te worden verondersteld.

De veiligheidssystemen zijn in principe uitgevoerd als $(n + 1)$ -systemen; bij actieve componenten is ten dele sprake van een hogere mate van redundantie. Zo is bijvoorbeeld het noodstroomnet 1 redundant in twee rails uitgevoerd met iedere rail een eigen dieselaggregaat (EY010/020). Daarnaast is er een derde dieselaggregaat (EY030) beschikbaar die één van beide rails kan voeden als de betreffende dieselaggregaat (EY010 of EY020) niet functioneert. De dieselaggregaten op beide noodstroomrails hebben dus samen één reserve, zodat de tijd voor reparaties aan deze actieve componenten ten opzichte van een zuiver $(n + 1)$ -ontwerp langer kan zijn.

5.1.4.2 **Diversiteit**

Fouten die een gemeenschappelijke oorzaak hebben (zogenoeten “common cause failures”), zoals ontwerp- of fabricagefouten, worden vermeden door toepassing van het diversiteitsprincipe. Diversiteit betekent verscheidenheid. Voor het vervullen van een bepaalde veiligheidsfunctie worden dus verschillende fysische werkingsmechanismen en/of constructies van apparaten toegepast, die niet allemaal tegelijk door dezelfde oorzaak hun werking kunnen verliezen of kunnen uitvallen. Volgens dit principe worden bijvoorbeeld de noodvoedingswaterpompen op verschillende manieren aangedreven (elektrische aandrijving, aandrijving door middel van stoom).

5.1.4.3 **Ruimtelijke scheiding en bouwkundige bescherming**

Ter beveiliging tegen storingen door oorzaken die buiten het systeem zelf liggen (overstroming, uitstroomkrachten, brand), zijn deelsystemen (strangen) die ten opzichte van elkaar redundant zijn, in verschillende ruimten ondergebracht of op (ruime) afstand van elkaar geplaatst. Wanneer componenten of systemen die slechts enkelvoudig zijn uitgevoerd beveiligd dienen te worden, of wanneer redundante deelsystemen (strangen) niet over verschillende ruimten kunnen worden verdeeld, zijn passende bouwkundige veiligheidsvoorzieningen getroffen.

5.1.4.4 **Fail-safe-principe**

Een extra bescherming tegen alle tot nog toe behandelde oorzaken van storingen en tegen het uitvallen van de hulpenergie, bijvoorbeeld van de stroomvoorziening voor de veiligheidsvoorzieningen, biedt in bepaalde gevallen het fail-safe-principe. ("Fail-safe" betekent zoveel als "uitvallen in de veilige richting".) Veiligheidsvoorzieningen worden dus zodanig ontworpen dat storingen in deze voorzieningen zelf of het uitvallen van hun stroomvoorziening, onveranderlijk leiden tot acties die op de veiligheid zijn gericht. Denk bijvoorbeeld aan het door de zwaartekracht in de reactorkern vallen van de regelementen wanneer de stroomvoorziening uitvalt.

5.1.4.5 **Principe van "Lek-voor-Breuk"**

Het principe van "Lek-voor-Breuk" en de invulling hiervan voor de kerncentrale Borssele wordt beschreven in paragraaf 5.9.2.

5.1.4.6 **Geautomatiseerde ongevalsbeheersing**

Bij het constateren van storingen en bij het in gang zetten van maatregelen om storingen en ongevallen te kunnen beheersen, vertrouwt men in geval van de noodzaak van een snelle ingreep niet enkel en alleen op de opmerkzaamheid en de juiste beslissingen van het bedieningspersoneel. De mogelijkheid dat er verkeerde beslissingen zouden worden genomen, met name gedurende de eerste minuten na het begin van een ongeval, zou veel te groot zijn. Daarom is het ontwerp van de installatie zodanig dat het voor de beheersing van een ontwerpongeval gedurende de eerste 30 minuten na het begin van dat ongeval niet noodzakelijk is, om handmatig in de bediening in te grijpen. Hierop wordt een uitzondering gemaakt in het geval van een eenvoudige, eenduidige handgreep. Hiervoor geldt een tijd van 10 minuten waarin geen actie nodig is. De door het reactorbeveiligingssysteem aangestuurde maatregelen om het ongeval te beheersen zijn volautomatisch en hebben prioriteit boven manuele bedieningshandelingen.

Voor de gevallen, dat de regelzaal door invloeden van buitenaf buiten werking is zijn de belangrijkste veiligheidsfuncties automatisch zonder tussenkomst van het bedieningspersoneel voor een autonome bedrijfsduur van 10 uur veiliggesteld. Wanneer de regelzaal niet functioneert, staat er in een tegen externe invloeden beschermd gebouw een reserve regelzaal ter beschikking. In ditzelfde beschermde gebouw is ook het vitale deel van het reactorbeveiligingssysteem ondergebracht.

5.1.4.7 **Stralingsbescherming**

Bij het ontwerp van de centrale is rekening gehouden met het minimaliseren van de stralingsbelasting van personeel en apparatuur volgens het ALARA-principe. Dit principe wordt verder behandeld in hoofdstuk 11.

5.1.5 **Veiligheidsfuncties**

In paragraaf 5.1 zijn drie technische beschermingsdoelstellingen gepresenteerd die gewaarborgd moeten worden om de doelstelling van bescherming te realiseren. Deze beschermingsdoelstellingen worden ook wel basis veiligheidsfuncties genoemd. In het

onderstaande overzicht worden de systemen genoemd, waarmee deze functies worden gewaarborgd.

Beheersen van de kritikaliteit:

- regelstaven;
- nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) met volumeregelsysteem (TA);
- primair reservesuppletiesysteem (TW).

Afvoer van warmte van de reactor en de splijtstofopslag:

- hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL);
- secundair reservesuppletiesysteem (RS);
- hoofdstoomsysteem (RA);
- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- nucleair tussenkoelwatersysteem (TF);
- nood- en nevenkoelwatersysteem (VF);
- primair reservesuppletiesysteem (TW);
- reserve nakoelsysteem (TE);
- reserve noodkoelwatersysteem (VE);
- splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG).

Insluiting van radioactief materiaal en afscherming van straling (zie paragraaf 5.1.3.2).

Beheersing/beperking van radioactieve lozing (normaal bedrijf/ongevallen):

- veiligheidsomhulling met doorvoeringen, sluisen, etc.;
- nucleair ventilatiesysteem (TL).

De belangrijkste elektrische systemen nodig om de bovengenoemde systemen hun veiligheidsfunctie te laten vervullen zijn hieronder weergegeven:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- veiligheidsrelevante meet-en regelsystemen en instrumentatie;
- het procespresentatie-systeem;
- noodstroomnet 1 en 2.

De specifieke systemen die benodigd zijn na het optreden van invloeden van binnenuit en invloeden van buitenaf worden in de paragraaf 5.9 en paragraaf 5.10 behandeld.

5.2 OVEREENSTEMMING MET ONTWERPPRINCIPES EN CRITERIA

In paragraaf 5.1 zijn de algemene ontwerpprincipes en criteria beschreven die ten grondslag liggen aan de veiligheidsrelevante systemen, structuren en componenten van de kerncentrale Borssele. Daarnaast is in paragraaf 5.8 het 30-minuten criterium beschreven, hetgeen als uitgangspunt dient voor de automatisering van de veiligheidsrelevante systemen. Voor de systemen, structuren en componenten is het van belang dat deze voldoen aan de ontwerpprincipes en criteria.

De systemen voor normale bedrijfsvoering en voor de beheersing van ongevalsituaties worden behandeld in hoofdstuk 6. De systemen die nodig zijn voor de beheersing van ontwerpongevallen dienen aan de bovengenoemde ontwerpprincipes en criteria te voldoen en daarom is aan de beschrijving van deze systemen steeds een veiligheidsbeschouwing toegevoegd waarin dit geëvalueerd wordt.

Voor ruimtelijke scheiding zijn de daaraan ten grondslag liggende invloeden van binnenuit (bijvoorbeeld leidinglekage en brand) van belang. Deze invloeden zijn beschouwd in paragraaf 5.9. Per relevante invloed van binnenuit is bepaald welke systemen en/of systeemdelen hiervoor nodig zijn en op welke wijze deze invloeden beheerst worden.

De invloeden van buitenaf (bijvoorbeeld aardbeving en vliegtuigongeluk) zijn beschouwd in paragraaf 5.10. De bescherming van systemen en componenten hiertegen is voor deze invloeden vaak mede afhankelijk van het gebouw waarin deze gehuisvest zijn. De gebouwen zijn behandeld in paragraaf 5.6. Per relevante invloed van buitenaf is weer bepaald welke systemen en/of systeemdelen hiervoor nodig zijn en hoe deze invloeden beheerst worden.

Tot slot zijn in paragraaf 7.2 de ontwerpongevallen geanalyseerd rekening houdend met de algemene ontwerpprincipes en criteria en de uitvoering van de systemen, structuren en componenten. Aangetoond is dat alle beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

Geconcludeerd kan worden dat er voldaan wordt aan de genoemde ontwerpprincipes en criteria.

5.3 BESTENDIGHEID TEGEN INTERNE BELASTINGEN

5.3.1 Specificatie van de bij het ontwerp veronderstelde belastingstoestanden

Interne belastingen op de componenten en systemen van de installatie zijn het gevolg van de procescondities bij de verschillende belastingstoestanden. Het ontwerp van de componenten van het reactorcool- en drukkoudsysteem en de direct daaraan gekoppelde systemen is gebaseerd op een aantal veronderstelde belastingstoestanden.

Conform internationale methodieken zijn de belastingstoestanden als volgt ingedeeld:

- normaal voorkomende belastingen;
 - o normaal bedrijf;
 - o storingen;
 - o beproevingen;
- ongevallen;
 - o noodgevallen;
 - o schadegevallen.

In tabel 3.3/1 zijn deze belastingstoestanden verder onderverdeeld.

Normaal voorkomende belastingen

Normaal bedrijf

Onder normaal bedrijf vallen bedrijfstoestanden of bedrijfstoestandsveranderingen, waarbij de installatie wordt bedreven binnen gespecificeerde bedrijfslimieten en bedrijfscondities. Het gaat hierbij in het bijzonder om het opstarten van de reactor, vermogensbedrijf en het afschakelen van de reactor, inclusief de bij deze bedrijfstoestandsveranderingen optredende transiënten.

Storingen

Tot de storingen worden afwijkingen van het normale bedrijf gerekend, die door functie- of schakelfouten van componenten zelf of van naburige componenten ontstaan. Vanuit veiligheidstechnisch opzicht is er geen reden om na afloop van een storing en het herstel van de functie- of schakelfouten het bedrijf niet voort te zetten.

Beproevingen

De beproevingen omvatten zowel de persproeven bij afname/installatie van een component als de periodieke druk- en dichtheidsbeproevingen.

Ongevallen

Ongevallen zijn afwijkingen van normaal bedrijf of storingen, waarna het bedrijven van de installatie uit veiligheidstechnisch oogpunt niet zonder meer voortgezet kan worden.

Noodgevallen

Noodgevallen zijn ongevallen die een geringe waarschijnlijkheid van optreden hebben.

Schadegevallen

Schadegevallen zijn ongevallen die een zeer geringe waarschijnlijkheid van optreden hebben, of gepostuleerde belastingstoestanden.

5.3.2 Belastingscategorieën

De bij het ontwerp van de mechanische componenten en systemen veronderstelde belastingstoestanden en daaruit voortvloeiende belastingen zijn ingedeeld in belastingscategorieën afhankelijk van de ernst van de belastingstoestand (zie tabel 5.3/1).

De op basis van deze veronderstelde belastingen uitgevoerde sterkteberekeningen van de componenten, volgens de Stoomwezen Grondslagen en ASME Code Section III, omvatten:

- dimensionering van de componenten;
- elasticiteitsberekeningen en spanningsanalyses;
- vermoeiingsanalyses.

De berekende spanningen zijn getoetst aan de in de ASME Code aangegeven toelaatbare spanningswaarden die afhankelijk zijn van de indeling van de betreffende component in belastingscategorieën. De belastingscategorieën worden ingedeeld van A t/m D, waarbij de toelaatbare spanningen behorende bij categorie A lager zijn dan bij categorie D. De uitgevoerde spanningsberekeningen tonen aan dat de componenten van het reactorkoel- en drukhoudsysteem en de direct daaraan gekoppelde systemen zo gedimensioneerd zijn dat de tijdens de veronderstelde belastingstoestanden optredende spanningen in het materiaal ruimschoots onder de toelaatbare waarden liggen.

5.3.3 Bewaking vermoeiingsontwerp

De in het ontwerp aangenomen belastingstoestanden leiden bij sommige componenten tot spanningswisselingen die bij na verloop van tijd tot vermoeiing zouden kunnen leiden. In tabel 5.3/1 zijn voor verschillende belastingstoestanden de aantallen weergegeven die bepaald zijn uitgaande van bedrijfsvoering tot 2034.

De mogelijke gevolgen van spanningswisselingen die op componenten inwerken worden uitgedrukt in de zogenaamde cumulatieve gebruiksfactor. Met vermoeiingsanalyses is aangetoond dat de cumulatieve gebruiksfactoren ten gevolge van de bij het ontwerp van de installatie veronderstelde belastingen en het veronderstelde aantal van optreden in de drukvoerende delen van de componenten van het reactorkoel- en drukhoudsysteem en de direct daaraan gekoppelde systemen gedurende de totale bedrijfstijd kleiner dan 1 zullen blijven, zodat de integriteit gewaarborgd blijft.

Ten behoeve van de bedrijfsduurverlenging van de KCB (zie paragraaf 5.4) zijn de bestaande vermoeiingsanalyses gerevalideerd uitgaande van bedrijfsvoering tot 2034. Tevens is conform actuele regelgeving de corrosieve invloed van het koelmiddel verdisconteerd bij het bepalen van de cumulatieve gebruiksfactoren.

De geldigheid van de vermoeiingsanalyses wordt periodiek bewaakt aan de hand van het monitoren en vervolgen van de werkelijk optredende druk- en temperatuurswisselingen.

Tabel 5.3/1 Veronderstelde belastingstoestanden met bijbehorende aantallen en belastingscategorieën voor bedrijfsvoering tot 2034

Veronderstelde belastingstoestanden	Geprojecteerde aantallen ¹⁾ (60 jaar bedrijfsduur)	Belastings-categorie
Normaal voorkomende belastingen		
Normaal bedrijf		
- Opstarten vanuit nullast, koud	142	A
- Afregelen tot nullast, koud	141	A
- Sprongvormige belastingveranderingen	170	A
- Vermogensveranderingen	110	A
- Montage van het reactorvatdeksel	71	A
Storingen		
- Reactorsnelafschakeling (RESA)	42	B
- Turbinesnelafschakeling (TUSA), of lastafschakeling op nullast, of lastafschakeling op eigenbedrijf	91	B
- Onbedoeld sluiten van een hoofdstoomafsluiter	2	B
- Uitval hoofdkoelmiddelpomp	49	B
- Verandering van de voedingswaterintredetemperatuur bij de stoomgeneratoren	3	B
- Onbedoeld openen van de turbine-omloopklep	2	B
- Hulpsproeien met het TA-systeem	18	B
Beproevingen		
- Drukbeproeving reactorkoelsysteem	3 ²⁾	P [*])
- Drukproeven secundair systeem	1 ²⁾	P [*])
- Beproevingen drukhouder veiligheidsklep	57	B

Veronderstelde belastingstoestanden	Geprojecteerde aantallen ¹⁾ (60 jaar bedrijfsduur)	Belastings-categorie
Ongevallen		
Noodgevallen		
- Noodstroomsituatie	13	
o met aansluitend opstart		B
o met afregelen tot 120 °C en koud water suppletie		C
- TUSA zonder turbine-omloopleiding	16	
o met aansluitend opstart		B
o met afregelen tot nullast, koud		B
- Stoomgeneratorpijpbreuk	13	
o zonder noodstroomsituatie		B
o met noodstroomsituatie		C
- Aanspreken veiligheidsklep drukhouder	1	B
- Niet sluiten veiligheidsklep drukhouder		
o bij beproeving	6	B
o na aanspreken	2	C
- Niet sluiten veiligheidsklep hoofdstoomsysteem	1	B/C**)
- Onbedoelde toevoer van koud water in een stoomgenerator	1	B
- Kleine lekkage hoofdkoelmiddelkringloop	1	C
- Kleine lekkage secundaire leidingen	3	C
Schadegevallen		
- Lekkage van hoofdkoelmiddel		
o middelgrote lekkage	1	D
o grote lekkage	1	D
- Lekkage van een secundaire leiding		
o middelgrote lekkage	1	D
o grote lekkage	1	D
- Externe invloeden	1	D
- Bijzondere schadegevallen		
o ATWS (veronderstelde transiënt zonder reactorafschakeling)	5	C/D**)
o primaire feed/bleed	1	D
o secundaire feed/bleed	1	D

¹⁾ Geprojecteerd aantal belastingswisselingen tot 2034 op basis van het werkelijk aantal geregistreerde belastingswisselingen

²⁾ Wordt niet meer uitgevoerd bij KCB

^{*)} P: Bijzondere belastingscategorie voor beproevingen

^{**)} Primaairzijdig/Secundairzijdig

5.4 BEDRIJFSDUUR KCB

De bedrijfsvergunning van de KCB kende vanaf het begin van commercieel bedrijf geen beperking in tijd. Bij het oorspronkelijke ontwerp en de bouw van de KCB is echter rekening gehouden met een bedrijfsduur van 40 jaar. Deze bedrijfsduur is daarmee als uitgangspunt voor het ontwerp aangenomen.

In 2013 heeft KCB vergunning gekregen om de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van KCB van 40 jaar naar 60 jaar te verlengen. Voor de onderbouwing en daarmee rechtvaardiging van deze wijziging zijn de richtlijnen van het IAEA als leidraad gebruikt. De onderbouwing is door de IAEA beoordeeld tijdens zogenaamde SALTO-missies (SAfe Long Term Operation). Hierbij zijn de volgende aspecten beschouwd:

- KCB organisatie en functies;
- configuratie- en wijzigingsbeheer;
- veiligheidsrapport en andere vergunningsrelevante documenten;
- identificatie van structuren, systemen en componenten die belangrijk zijn voor verlengde bedrijfvoering;
- bestaande programma's en activiteiten die relevant zijn voor verlengde bedrijfvoering;
- beoordeling van verouderingsbeheersing;
- validatie van verouderingsanalyses die tijdsgelimiteerde aannamen bevatten, zoals reactorvatverbrossing, vermoeiing en lek-voor-breuk.

Vanaf 2014 is KCB in de zogenoemde Long Term Operation fase gekomen.

5.5 KLASSERING VAN STRUCTUREN, SYSTEMEN EN COMPONENTEN

In het kader van de klassering van structuren, systemen en componenten (SSC's) zijn de volgende onderdelen van belang:

- veiligheidsklassering (werktuigkundig, elektrisch en civiel);
- seismische klassering.

Deze worden in de volgende paragrafen beschreven.

5.5.1 Veiligheidsklassering van structuren, systemen en componenten

5.5.1.1 Inleiding

De structuren, systemen en componenten van de kernenergiecentrale Borssele zijn afhankelijk van hun betekenis voor de veiligheid van de installatie conform NVR NS-R-1 geklasseerd. Door deze indeling in veiligheidsklassen wordt de mate van vereiste zorgvuldigheid bij ontwerp (veiligheidsmarge), inkoop, inspectie, onderhoud, wijziging etc. van deze componenten en systemen bepaald. Basis voor de indeling is de richtlijn NVR-2.1.1: "Safety Functions and Component Classification for BWR, PWR and PTR".

5.5.1.2 Klasseringsproces

De veiligheidsklassering van systemen, structuren en componenten (SSC's) is afhankelijk van:

- de veiligheidsfunctie van de SSC;
- de gevolgen van het falen van de SSC om deze veiligheidsfunctie uit te voeren.

De benodigde veiligheidsfuncties die nodig zijn voor veilig bedrijf en de beheersing van ontwerpongevallen (zie paragraaf 5.1 en paragraaf 7.2) worden ingedeeld in categorieën. Op basis van de functionele categorie wordt aan de systemen, structuren en componenten die nodig zijn bij de uitvoering van de betreffende veiligheidsfunctie een veiligheidsklasse toegekend. De veiligheidsklasse bepaalt de eisen ten aanzien van kwaliteit en betrouwbaarheid voor het betreffende systeem met betrekking tot het ontwerp, de constructie, het onderhoud, de bedrijfsvoering, etc.

5.5.1.3 Werktuigbouwkundige componenten en systemen

5.5.1.3.1 Veiligheidsklassen

De onderverdeling in de veiligheidsklassen volgens bovengenoemde NVR is afhankelijk van de veiligheidsfunctie van het betreffende systeemdeel of de component. De veiligheidsfuncties omvatten de functies die noodzakelijk zijn om (ontwerp)ongevalsomstandigheden te voorkomen, (ontwerp)ongevallen te beheersen en om de gevolgen van ongevalsomstandigheden te beperken. De veiligheidsfuncties zijn gegroepeerd in zogenaamde veiligheids categorieën. Afhankelijk van de categorie van de veiligheidsfunctie wordt de SSC in veiligheidsklasse 1, 2, 3 of 4 ondergebracht. Voor delen die geen veiligheidsfunctie vervullen, geldt geen veiligheidsklassering.

- Veiligheidsklasse 1

Omvat die veiligheidsfuncties, die nodig zijn om te voorkomen dat een aanzienlijk deel van de aanwezige hoeveelheid splijtingsproducten naar de omgeving ontsnapt als het daarvoor bedoelde beveiligingssysteem niet werkt.

- Veiligheidsklasse 2
 Omvat die veiligheidsfuncties, die nodig zijn om de gevolgen van een ongeval te beperken, wanneer anders een aanzienlijk deel van de aanwezige hoeveelheid splijtingsproducten naar de omgeving zou ontsnappen.
 De gevolgen van het uitvallen van de functies die tot de klasse 2 behoren, hoeven slechts beschouwd te worden na een eerste falen van een andere veiligheidsfunctie.
 Klasse 2 omvat ook die veiligheidsfuncties, die voorkomen dat storingen uitgroeien tot ongevallen. Hiervan uitgezonderd zijn veiligheidsfuncties die ten behoeve van andere veiligheidsfuncties een ondersteunende taak hebben.
 Tenslotte omvat klasse 2 functies, waarbij het product van de gevolgen van het uitvallen van de veiligheidsfunctie en de waarschijnlijkheid dat er op de betreffende veiligheidsfunctie een beroep wordt gedaan, groot is.
- Veiligheidsklasse 3
 In de veiligheidsklasse 3 zijn de veiligheidsfuncties opgenomen die een ondersteunende taak hebben ten behoeve van de functies uit de klassen 1, 2 en 3. Tot klasse 3 behoren ook functies die ervoor zorgen dat de stralingsbelasting van de bevolking en het personeel van de installatie als gevolg van bronnen buiten het primair systeem de geldende limieten niet overschrijden. Verder behoren tot deze klasse 3, veiligheidsfuncties die de reactiviteit langzamer regelen dan de overeenkomstige systemen van de veiligheidsklassen 1 en 2. Bovendien zijn in klasse 3 de functies ondergebracht die de onderkritische toestand van de splijtstof buiten het primair systeem en de afvoer van de vervalwarmte van splijtstof buiten de kern verzekeren.
- Veiligheidsklasse 4
 Omvat de veiligheidsfuncties die niet in de klassen 1, 2 of 3 zijn ondergebracht.

5.5.1.3.2 Beschrijving van de veiligheidsfuncties

De veiligheidsfuncties zijn:	Veiligheidsklasse:
a) Voorkoming van ontoelaatbare reactiviteitstransiënten	3
b) Handhaving van de veilige, afgeschakelde toestand van de reactor na alle afschakelhandelingen	3
c) Afschakeling van de reactor om te voorkomen dat storingen tot ongevallen leiden en om de gevolgen van ongevallen te beperken	2
d) Afschakeling van de reactor na een ongeval met verlies van koelmiddel, om een voldoende koeling van de reactorkern mogelijk te maken	1
e1) Handhaving van een voldoende hoeveelheid koelmiddel om de reactorkern tijdens en na ongevallen te kunnen koelen, wanneer het primair systeem intact is	2
e2) Handhaving van een voldoende hoeveelheid koelmiddel om de reactorkern tijdens en na alle bedrijfsomstandigheden te koelen	3
f) Afvoer van de warmte uit de reactorkern wanneer het primair systeem faalt, om schade aan de splijtstofelementen te beperken	2

g)	Afvoer van de restwarmte tijdens normaal bedrijf en ongevallen waarbij het primair systeem intact is gebleven	2
h)	Afvoer van de warmte van andere beveiligingsystemen naar de "Ultimate Heat Sink"	3
i)	Waarborgen van ondersteunende functies van veiligheidssystemen (bijvoorbeeld levering van stroom, pneumatische en hydraulische energie, smering)	3
j)	Handhaving van de goede staat van de splijtstofomhulling in de reactorkern	2
k)	Handhaving van de goede staat van het primair systeem	1/2
l)	Beperking van het vrijkomen van radioactief materiaal uit de veiligheidsomhulling tijdens en na ongevallen	2
m)	Beperking van de stralingsbelasting van de bevolking en van het bedieningspersoneel tijdens en na ongevallen waarbij radioactiviteit uit bronnen buiten de veiligheidsomhulling vrijkomt	3
n)	Beperking van de afgifte of het vrijkomen van radioactief afval en luchtgedragen activiteit tot beneden de voorgeschreven limieten, gedurende alle bedrijfsomstandigheden	3/4
o)	Beheersing van de omgevingscondities binnen de installatie, zodat veiligheidssystemen en personeel functies van belang voor de veiligheid kunnen uitvoeren	3
p)	Beheersing van het vrijkomen van activiteit uit bestraalde splijtstofstaven die buiten het primair systeem getransporteerd en opgeslagen worden, maar zich wel binnen de installatie bevinden, gedurende alle bedrijfsomstandigheden	3
q)	Afvoer van de vervalwarmte van bestraalde splijtstofelementen die buiten het primair systeem worden opgeslagen, maar zich wel binnen de installatie bevinden	3
r)	Handhaving van een voldoende onderkritische toestand van splijtstofelementen die buiten het primair systeem zijn opgeslagen, maar zich wel binnen de installatie bevinden	3
s)	Voorkomen van beschadigingen aan componenten of gebouwen, waardoor een veiligheidsfunctie uit kan vallen, of het beperken van de gevolgen daarvan	4

5.5.1.4 Elektrotechnische en instrumentatiecomponenten en -systemen

De elektrotechnische en instrumentatiecomponenten en –systemen worden onderverdeeld in:

- systemen die belangrijk zijn voor de veiligheid, de zogenaamde veiligheidsrelevante systemen;
- systemen die niet belangrijk zijn voor de veiligheid.

De veiligheidsrelevante systemen worden weer onderverdeeld in:

- veiligheidssystemen;
- veiligheidsgerelateerde systemen.

De klassering van elektrotechnische en instrumentatiecomponenten en -systemen is gebaseerd op de definities van de Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) voor de klassen 1E en 0E. Bovendien is in overleg met de Nederlandse overheid voor KCB de klasse 1A toegevoegd.

- Klasse 1E (veiligheidssystemen)
omvat de elektrotechnische en instrumentatiecomponenten die van belang zijn voor reactorafschakeling, afsluiting van de veiligheidsomhulling, kernkoeling en de warmteafvoer van reactor en veiligheidsomhulling, of die op de een andere wijze van belang zijn ter voorkoming van verspreiding van radioactief materiaal naar de omgeving
- Klasse 1A (veiligheidsgerelateerde systemen)
omvat in principe de systemen en componenten die een belangrijke taak hebben bij de bedrijfsvoering. Dit betreft met name de volgende functies:
 - * voorkoming dat procesgrootheden de grenswaarden overschrijden, waardoor het reactorbeveiligingssysteem (YZ) wordt ingeschakeld
 - * detectie en meting van hoofdkoelmiddellekkages in het primair systeem
 - * bewaking van de omgevingscondities in de installatie die van belang zijn voor het functioneren van de verschillende apparatuur en inrichtingen
 - * beveiliging van de kernenergiecentrale, zoals communicatiesystemen, brandmeldsystemen, brandbestrijdingssystemen, bewaking van de toegangen etc.
 - * meting en registratie van de verschillende parameters tijdens normaal bedrijf en ongevalscondities (bijvoorbeeld lozing van radioactieve stoffen, radioactiviteit in de installatie, meteorologische grootheden etc.)
- Klasse 0E
omvat alle systemen en componenten die niet in de klassen 1E of 1A zijn ingedeeld.

5.5.1.5 C-Veiligheidsklassering

De bouwkundige en civiele (C) systemen, structuren en componenten zijn ingedeeld in vier veiligheidsklassen. Het uitgangspunt hierbij is dat ontwerpongevallen beheerst moeten worden. Er worden vier civiele veiligheidsklassen gedefinieerd: 1C, 2C, 3C en 4C.

- Veiligheidsklasse 1C
omvat de veiligheidsfuncties:
 - * die nodig zijn om de gevolgen van een ongeval, dat anders zou leiden tot afgifte van splijtingsproducten aan de omgeving, te verminderen;
 - * die nodig zijn om te voorkomen dat de te verwachten bedrijfsgebeurtenissen uitgroeien tot ongevalssituaties met uitzondering van functies met een ondersteunende rol bij andere veiligheidsfuncties;
 - * die zouden kunnen leiden tot een groot product van faalgevolgen en de kans dat de functie vereist wordt.
- Veiligheidsklasse 2C
omvat de veiligheidsfuncties die een ondersteunende rol vervullen voor functies van klasse 1C en omvat ook de functies die nodig zijn om de stralingsbelasting van publiek en

personeel binnen de limiet te houden van bronnen buiten het primaire systeem en van de systemen die de reactiviteit regelen op langere termijn dan de klasse 1C systemen.

- Veiligheidsklasse 3C
omvat de veiligheidsfuncties die niet in klasse 1C en 2C vallen.
- Veiligheidsklasse 4C
omvat de systemen, structuren en componenten die geen veiligheidsfunctie vervullen.

5.5.2 Seismische klassering

Met inachtneming van de invloed op de veiligheid van de totale installatie worden de onderdelen van de installatie in twee klassen ingedeeld met betrekking tot hun vereiste bestendigheid tegen aardbevingen.

5.5.2.1 Aardbevingsbestendige installatiedelen van klasse I

Hiertoe behoren die onderdelen die nodig zijn om de volgende veiligheidsfuncties te vervullen:

- automatische afschakeling van de reactor en waarborgen van een langdurige onderkritische toestand;
- automatische afvoer van de restwarmte via de stoomgeneratoren;
- afvoer van de vervalwarmte uit het splijstofopslagbassin door middel van het reservekoelsysteem;
- afsluiting van de ventilatie van de veiligheidsomhulling.

Alle installatiedelen die tot de klasse I behoren zijn dusdanig ontworpen, dat hun functionaliteit in geval van een aardbeving waarmee bij het ontwerp rekening is gehouden, onaangetast blijft. De uit deze doelstelling voortvloeiende eisen ten aanzien van de onderdelen van de centrale, worden door middel van de volgende veiligheidstechnische taakstellingen omschreven:

Standzekerheid

Standzekerheid is de stabiliteit van onderdelen ten aanzien van ontoelaatbare veranderingen in de toestand of de plaats van opstelling (bijvoorbeeld omvallen, naar beneden vallen, van de plaats schuiven).

Integriteit

Met integriteit bedoelt men het intact zijn van onderdelen, wat wil zeggen, dat de onderdelen bestand zijn tegen alle gespecificeerde belastingen. De eis tot integriteit sluit automatisch de eis tot standzekerheid in.

Geschiktheid om te functioneren

Onder geschiktheid om te functioneren verstaat men het boven de standzekerheid en integriteit uitgaande vermogen om de vereiste functie in geval van een aardbeving te vervullen. Deze eis sluit dus automatisch de eisen ten aanzien van standzekerheid en integriteit in. Met betrekking tot het goed kunnen functioneren dient men onderscheid te maken tussen het goed functioneren na het voorval, of tijdens en na het voorval. Daarbij wordt verder onderscheid gemaakt tussen actief en passief functioneren. Een actieve geschiktheid om te functioneren waarborgt dat de voorgeschreven mechanische handelingen kunnen worden uitgevoerd.

Wanneer aan de eis tot passieve geschiktheid om te functioneren wordt voldaan, betekent dit, dat de grenzen van toelaatbare vervormingen niet worden overschreden.

Alle installatiedelen van de klasse I zijn zo ontworpen dat bij de belastingen als gevolg van een aardbeving de spanningen en/of vervormingen binnen de toelaatbare grenzen liggen en aan de eisen ten aanzien van standzekerheid, integriteit en geschiktheid om te functioneren wordt voldaan.

5.5.2.2 Aardbevingsbestendige installatiedelen van klasse II

Dit zijn alle overige delen van de kernenergiecentrale. Voor de onderdelen van klasse II is het niet noodzakelijk aan te tonen, dat zij bestand zijn tegen belastingen ten gevolge van een aardbeving.

Om echter schade aan aardbevingsbestendige installatiedelen van de klasse I als gevolg van het falen van een klasse II onderdeel te voorkomen, moeten aan bepaalde klasse II-onderdelen toch eisen worden gesteld. Deze onderdelen worden ingedeeld in de klasse IIA; hierbij moet worden aangetoond, dat uitwerkingen daarop en beschadigingen daarvan geen nadelige invloed kunnen hebben op het veilig functioneren van de onderdelen die tot de klasse I behoren.

De installatiedelen van klasse IIA voldoen aan de eisen ten aanzien van standzekerheid en integriteit.

5.6 BOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES

Terrein, het totale complex, toegangen

De locatie van de kernenergiecentrale bevindt zich 1,4 km ten noordwesten van het dorp Borssele en 10 km ten oosten van de stad Vlissingen, achter de zeedijk van de Westerschelde, in de nabijheid van de Sloehaven. Het terrein van de kernenergiecentrale ligt op circa 3,0 m boven NAP.

De gebouwen, inrichtingen en constructies die bij de kernenergiecentrale Borssele horen, zijn weergegeven in de situatieschets (figuur 5.6/1). Het terrein en de gebouwen worden bewaakt; daarnaast is het begrip "gecontroleerd gebied" ingevoerd.

Tot het "gecontroleerd gebied" worden die ruimten in gebouwen of delen van gebouwen gerekend, waarvoor een strikte toegangscontrole en dosisregistratie nodig geacht worden, teneinde omgeving en personen te beschermen tegen stralingsinvloeden. Daartoe behoren het reactorgebouw met de ringruimte (01, 02) en het reactorhulpgebouw (03) met uitzondering van het afblaasstation.

Afhankelijk van het plaatselijke dosistempo, vindt er ook tijdens het uitvoeren van werkzaamheden in het afvalopslaggebouw (34) een toegangscontrole en dosisregistratie plaats. Dit gebouw wordt echter niet tot het "gecontroleerd gebied" gerekend.

Het cilindrische reactorgebouw met koepeldak wordt aan de zuidoostkant voor de helft door het reactorhulpgebouw omsloten. Op het dak van het reactorhulpgebouw is in een opbouw het afblaasstation met de veiligheids- en afblaasregelkleppen van de hoofdstoomleidingen ondergebracht. De ventilatieschacht (13) is op het dak van het reactorhulpgebouw tegen het reactorgebouw geplaatst.

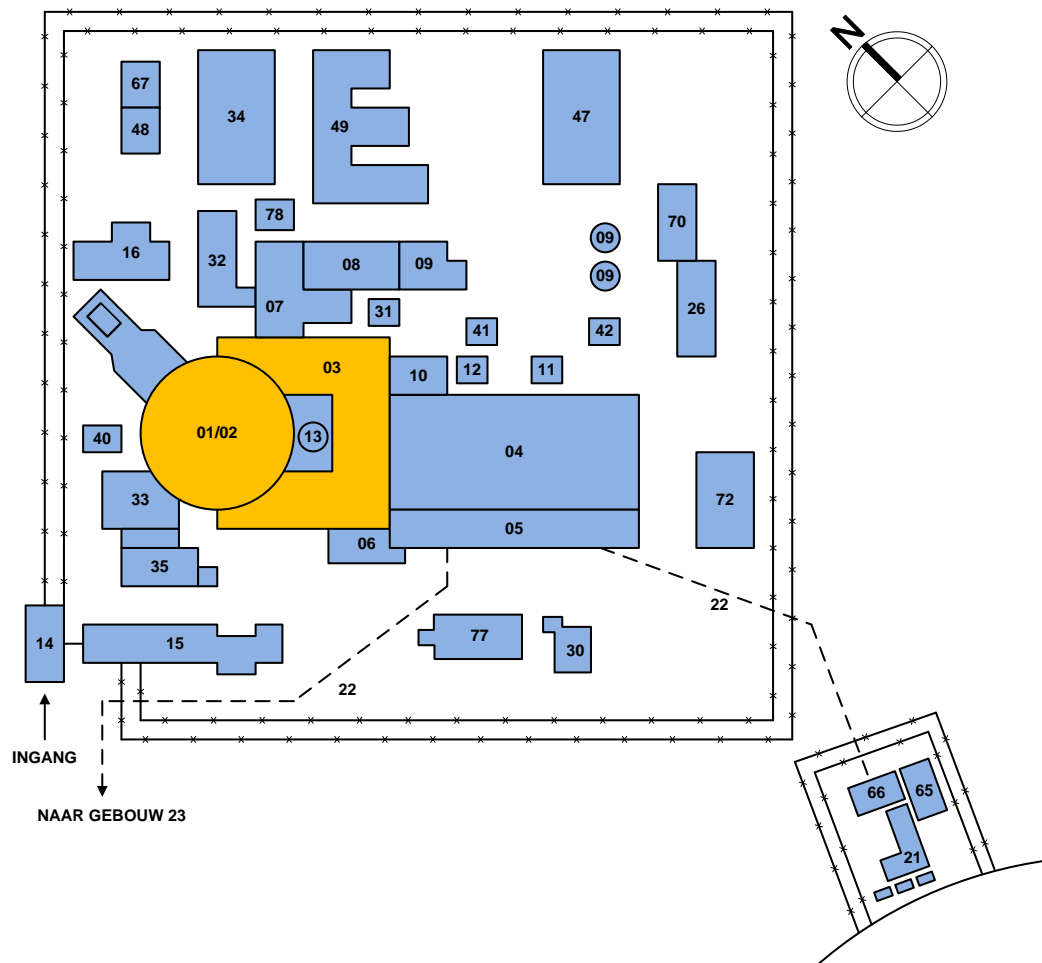
Aan de noordzijde is een hijsinstallatie (halfportaalkraan) tegen het reactorgebouw geplaatst.

Aan de westzijde sluit het reservesuppletiegebouw (33) direct aan op het reactorgebouw. Ten zuidwesten van het reservesuppletiegebouw bevindt zich het reserveregelzaalgebouw (35).

Het machinegebouw (04) met de turbogeneratorgroep sluit aan op het reactorhulpgebouw. Noordoostelijk van het machinegebouw bevinden zich de werkplaats (07), het magazijn (08) en het deminwateraanmaakgebouw (09). Het noodstroomdieselgebouw I (10) ligt tegen het reactorhulpgebouw en het machinegebouw aan. Het schakelgebouw (05) is tegen de lange zuidwestelijke zijde van het machinegebouw aangebouwd. Het dienstgebouw (06) is naast het schakelgebouw en het reactorhulpgebouw gesitueerd.

Het noodstroomdieselgebouw II (72) ligt tegenover de naar het zuidoosten gerichte voorgevel van het machinegebouw.

Het afvalopslaggebouw (34) ligt ten noorden van het reactorgebouw.


Gebouwcodering

01 Veiligheidsomhulling	32 Kantoorgebouw
02 Reactorgebouw ringruimte	33 Reservesuppletiegebouw
03 Reactorhulpgebouw	34 Afvalopslaggebouw
04 Machinegebouw	35 Reserveregelzaalgebouw
05 Schakelgebouw	40 10 kV-station
06 Dienstgebouw	41 Starttransformator BS001
07 Werkplaats EMRA	42 Hydrazine-voorraadtank
08 Archief/Tekenkamer	47 Opslagloods
09 Deminwateraanmaakgebouw + tanks	48 Brandweerkazerne
10 Noodstroomdieselgebouw I	49 Kantoorgebouw
11 Machinetransformator	65 Kantoorgebouw
12 Starttransformator BS002	66 Opslagloods
13 Ventilatieschacht	67 Was- en kleedruimtes
14 Bewakingsloge	70 Olieopslaggebouw
15 Kantoorgebouw	72 Noodstroomdieselgebouw II
16 Werkplaats	77 Kantoorgebouw
21 Koelwaterinlaatgebouw	78 Kantoorgebouw
22 Koelwaterleidingen	
23 Koelwateruitlaatgebouw	
26 Gasflessenopslaggebouw	
30 Hondenkennel	



Gecontroleerd gebied

Figuur 5.6/1 Gebouwoverzicht, -situatieschets-

De overige gebouwen ten behoeve van ondersteunende diensten liggen ten noordoosten van het reactorgebouw. De kantoorgebouwen (15), (77) bevinden zich ten zuidwesten daarvan. Het hoofdkantoorgebouw (15) en de bewakingsloge (14) liggen aan de toegangsweg naar het centrale terrein.

Tenslotte bevinden zich buitendijks het koelwaterinlaat- en koelwateruitlaatgebouw (21, 23).

5.6.1 Gebouwen die bestand zijn tegen invloeden van buitenaf

5.6.1.1 Reactorgebouw (01/02)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het reactorgebouw bevinden zich het primair koelsysteem en diverse nucleaire hulpsystemen en veiligheidsvoorzieningen.

De omhulling van gewapend beton (secundaire afscherming) van het gebouw is om de stalen veiligheidsomhulling heen geplaatst. Tussen de veiligheidsomhulling en de secundaire afscherming bevindt zich de ringruimte van het reactorgebouw.

Het functionele ontwerp van het reactorgebouw wordt in paragraaf 6.3.1.1 beschreven.

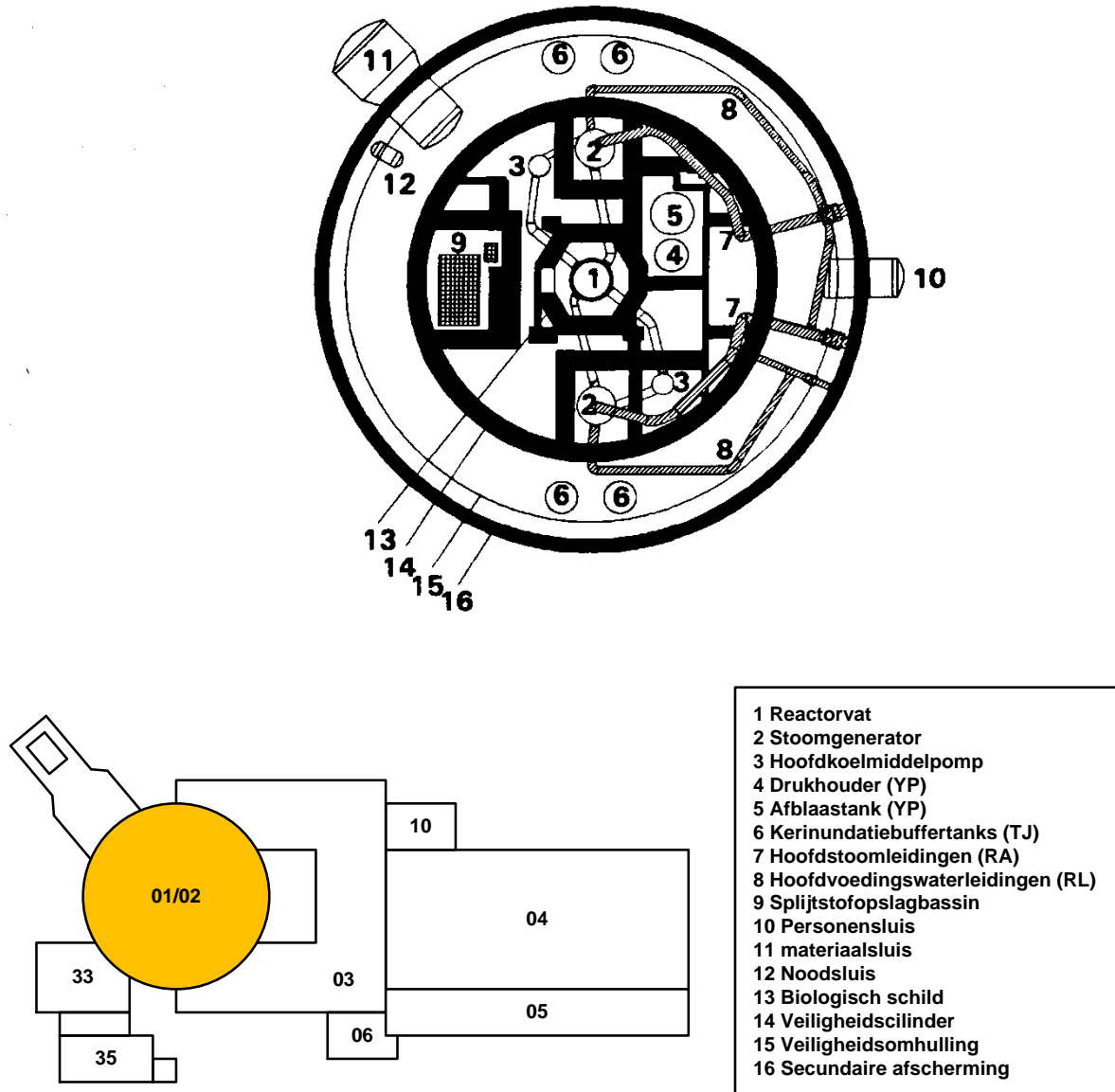
Het gebouwconcept is, net als de situering van de componenten en pijpleidingen, gebaseerd op de noodzakelijke bescherming tegen straling en de gevolgen van ongevallen.

In de veiligheidsomhulling zijn het primair systeem alsook delen van direct daarop aansluitende nucleaire hulpsystemen en het splijtstofopslagbassin ondergebracht. De stalen wand van de veiligheidsomhulling wordt ten opzichte van het primair systeem door zware wanden van gewapend beton (onder andere de veiligheidscilinder) beschermd. Het reactorvat en het biologische schild van gewapend beton bevinden zich onderin het gebouw. Drie doorsnedes van het reactorgebouw zijn gegeven in de figuren 5.6.1.1/1 tot en met 5.6.1.1/3.

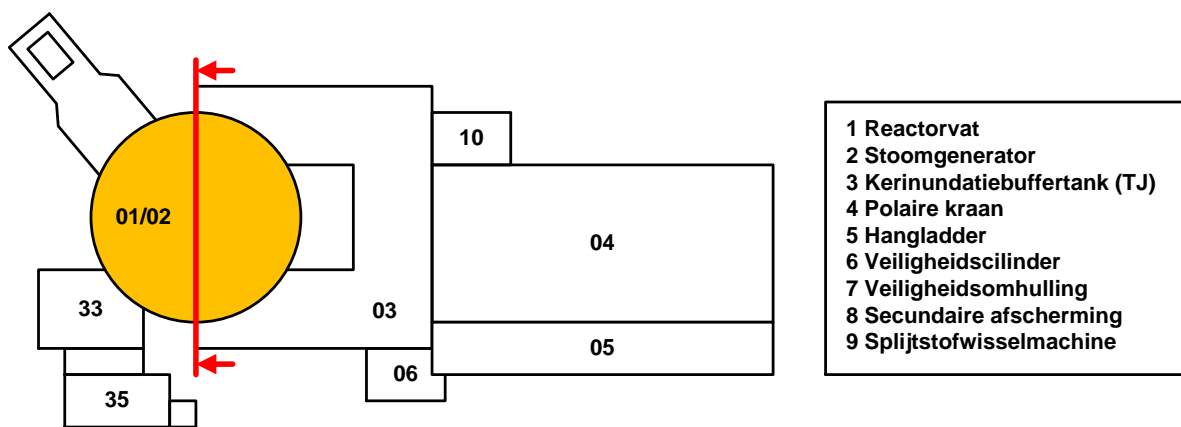
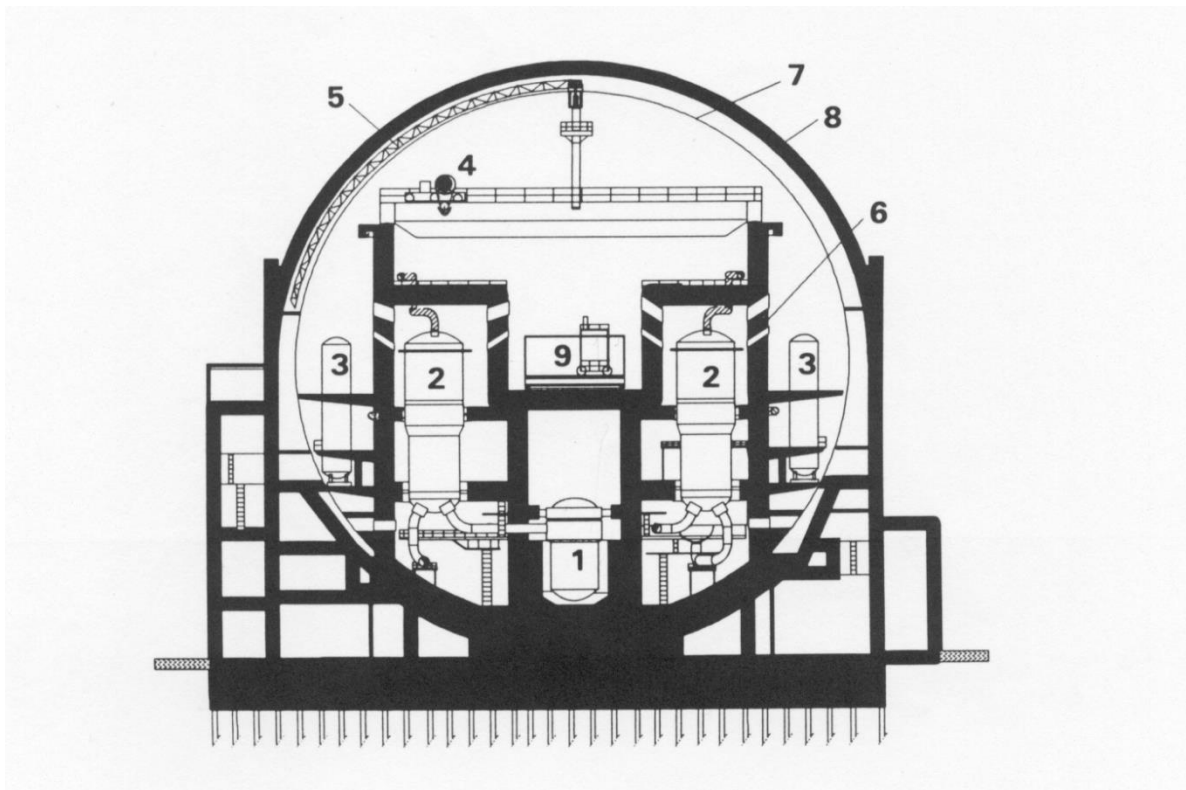
In de veiligheidsomhulling onderscheiden zich naar het plaatselijke dosistempo:

- de installatieruimte, die in principe niet kan worden betreden wanneer de reactor in bedrijf is;
- de bedrijfsruimte, die wel kan worden betreden wanneer de reactor in bedrijf is.

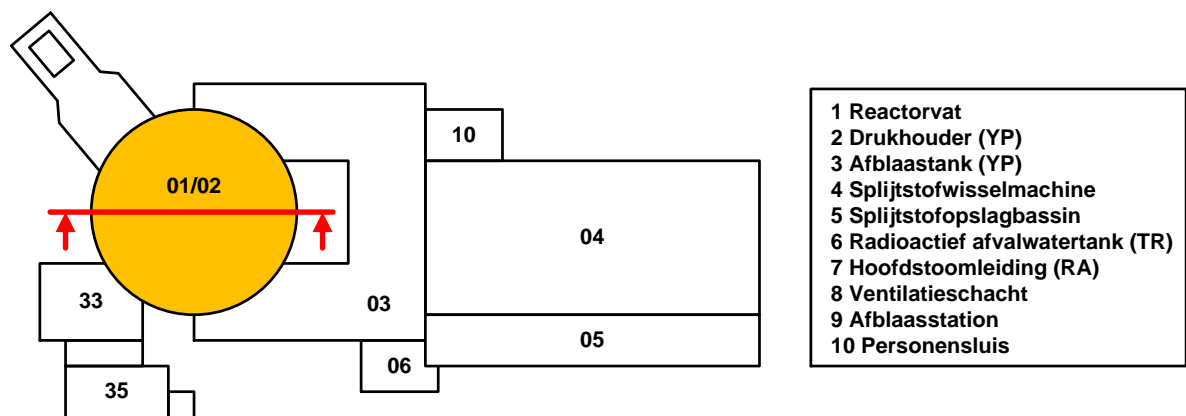
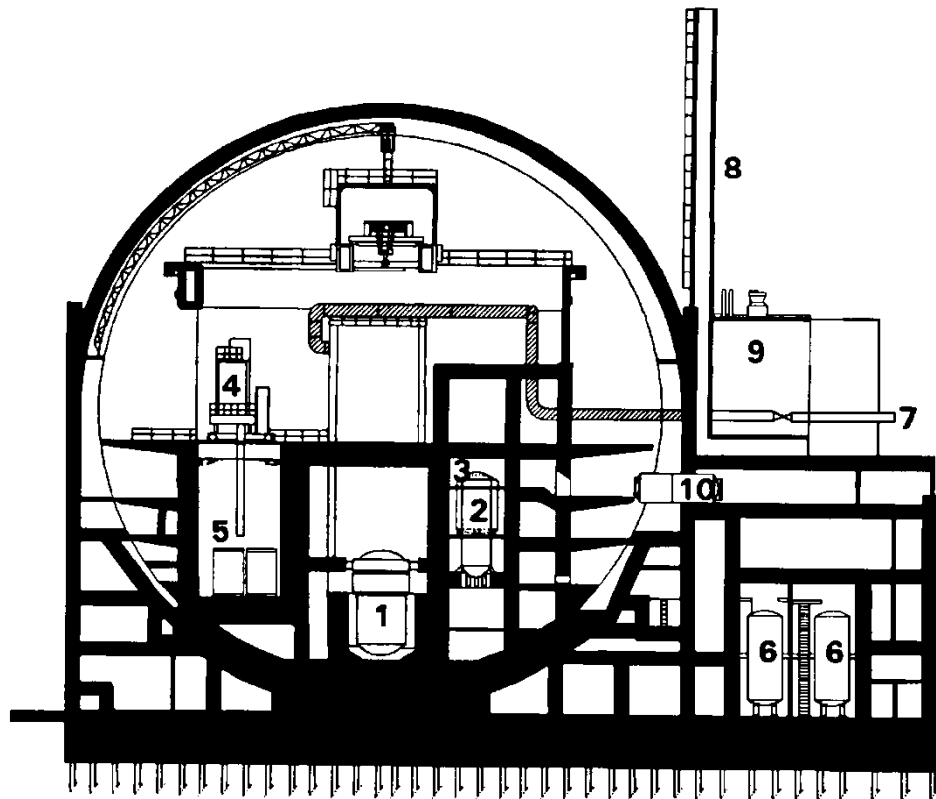
Door verschillende drukniveaus te handhaven, wordt ervoor gezorgd dat de lucht uit de bedrijfsruimte naar de op een lagere druk staande installatieruimte stroomt, met andere woorden van lager naar hoger plaatselijk dosistempo.



Figuur 5.6.1.1/1 Reactorgebouw (01/02)



Figuur 5.6.1.1/2 Reactorgebouw (01/02)



Figuur 5.6.1.1/3 Reactorgebouw (01/02) en reactorhulpgebouw (03)

De installatieruimte die zich geheel binnen de veiligheidscilinder van gewapend beton bevindt, bevat voornamelijk de volgende componenten:

- reactorvat (YC);
- hoofdkoelmiddelleidingen (YA);
- stoomgeneratoren (YB);
- hoofdkoelmiddelpompen (YD);
- drukkoudsysteem met drukhouder, afblaastank en appendages (YP);
- recuperatieve warmtewisselaars, HD-koelers en HD-reduceerstation (TA).

De bedrijfsruimte binnen de veiligheidscilinder, die door betonnen wanden en afdekbalken van de installatieruimte wordt gescheiden, bevat voornamelijk:

- het splijststofopslagbassin (SOB) en reactorbassin (REBA);
- de splijststofwisselmachine (PL);
- het kogelmeetsysteem;
- ruimten voor de meetwaarde-omvormers.

Bovenop de veiligheidscilinder is een polaire kraan geplaatst, om componenten binnen de veiligheidsomhulling te kunnen verplaatsen, voor het lichten van de betonnen afdeklatten boven de reactorput, en voor het lichten van het deksel van het reactorvat bij het wisselen van splijstfoelementen.

De bedrijfsruimte buiten de veiligheidscilinder bevat voornamelijk:

- kerninundatiebuffertanks (TJ);
- ventilatiesystemen (TL);
- afsluiters en meetwaarde-omvormers.

In de ringruimte van het reactorgebouw zijn hulp- en veiligheidssystemen ondergebracht. Het gaat daarbij voornamelijk om:

- pompen en koelers van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- het splijststofopslagbassinkoelsysteem (TG) met de reservebassinkoeler van het reserve noodkoelwatersysteem (VE);
- pompen van het volumeregelsysteem (TA);
- de smeeroliekoelers van de hoofdkoelmiddelpompen (TF);
- filter van de drukontlasting van de veiligheidsomhulling (TL003).

Toegang

De toegang van personen tot de veiligheidsomhulling vindt plaats via de personensluis, die via de ingang van het gecontroleerd gebied in het reactorhulpgebouw bereikbaar is.

Transporten van componenten met grote afmetingen (bijvoorbeeld transportcontainers voor splijstfoelementen) naar de veiligheidsomhulling, vinden plaats door de materiaalsluis op 24,00 m boven NAP. De materiaalsluis heeft aan de buitenkant een beschermende ombouw en een hijsinstallatie met aangebouwde trapopgang. Een naast de materiaalsluis aangebrachte noodsluis voorziet in een korte vluchtroute.

Om de wand van de veiligheidsomhulling aan de buitenkant te kunnen inspecteren en onderhouden, is er een hangladder aanwezig die langs de gehele buitenzijde kan worden verplaatst.

Gebruik van de ruimten

Alle ruimten die tijdens het bedrijf toegankelijk zijn, hebben alleen een taak voor de bewaking, het onderhoud van de installatie en reparaties, alsook voor het inbrengen van nieuwe en het transport van verbruikte splijstfoelementen. Er zijn geen ruimten, waarin zich voortdurend mensen bevinden.

Bouwkundige beschrijving

De buitendiameter van het reactorgebouw bedraagt circa 49,5 m en die van de stalen veiligheidsomhulling 46,0 m.

De omhulling van gewapend beton (secundaire afscherming) van het reactorgebouw, met een wanddikte van 0,6 m, is in het onderste gedeelte tot een hoogte van 32,5 m boven NAP als een cilinder geconstrueerd terwijl het bovenste gedeelte de vorm heeft van een koepel.

De fundering bestaat uit heipalen onder twee fundatieplaten van gewapend beton. Tussen de bovenste en de onderste fundatieplaat is een drukwaterdichte folie-isolatie aangebracht, die aan de zijken is opgetrokken tot 5,0 m boven NAP.

De dikten van de wanden en vloeren zijn aangepast aan de eisen ten aanzien van de stralingsbescherming.

De binnenwanden en vloeren van de ringruimte zijn van gewapend beton. Het onderste gedeelte van de veiligheidsomhulling is in een kom van gewapend beton ingebed. De belastingen van de constructies binnen de veiligheidsomhulling worden via deze kom naar de ondergrond afgevoerd.

In de veiligheidsomhulling is het primair systeem alsook het splijtstofopslagbassin ondergebracht. Alle hoge-drukvoerende delen van de installatie zijn ter bescherming van de veiligheidsomhulling binnen de 1,0 m à 1,5 m dikke wanden van de veiligheidscilinder geplaatst die aan de bovenkant door betonnen balken afgedekt is. De veiligheidscilinder draagt de polaire kraan.

De reactorput bevindt zich ongeveer in het centrum van de veiligheidsomhulling. Rondom het reactorvat is het biologische schild aangebracht. De ondersteuning voor het reactorvat rusten op consoles van het biologische schild. De ruimte tussen het beton van het biologische schild en het reactorvat wordt met lucht gekoeld (zie paragraaf 6.6.9).

De afscheiding tussen het boven de reactorput liggende reactorbassin en het splijtstofopslagbassin bestaat uit een stalen schuif, een betonnen sluis en afschermingsbalken van beton.

Openingen in bepaalde wanden zorgen in het geval van falen van een drukvoerend systeem voor de benodigde drukvereffening tussen de verschillende ruimten.

Verschiede afschermwanden en wandafsluitingen bestaan uit gemetselde stenen muren of droog gestapelde elementen in stalen bevestigingsconstructies; zij hebben een afschermende functie maar dienen daarnaast voor drukvereffening. Ook kunnen zij ten behoeve van montage- of demontage-werkzaamheden verwijderd worden.

Interieur

Alle wand- en plafondoppervlakken van de ruimten binnen de veiligheidsomhulling, alsook de oppervlakken van de wanden en plafonds in de ringruimte zijn voorzien van een decontamineerbare coating. De vloeren van deze ruimten zijn voorzien van een laag epoxyhars.

Op het oppervlak van staalconstructies en plaatstalen delen is eveneens decontamineerbare verf aangebracht.

In het reactorgebouw zijn plaatstalen deuren toegepast.

Veiligheidsomhulling

De veiligheidsomhulling is een stalen drukvat, dat er voor is ontworpen de maximale druk van het stoom/luchtmengsel, die in geval van een guillotinebreuk (2F-breuk) van een hoofdkoelmiddelleiding ontstaat, te kunnen weerstaan.

De veiligheidsomhulling is ontworpen volgens de specifieke voorschriften voor drukvaten en de voorschriften voor tank- en reservoirbouw. In het bijzonder zijn de Stoomwezen Regels voor toestellen onder druk, "AD-Merkblätter" en DIN-normen in acht genomen. De wanddikte van de veiligheidsomhulling varieert van 22 tot 30 mm.

Als bewijs voor een voldoende sterkte en standzekerheid is een sterkte- en stabiliteitsberekening uitgevoerd. Hierbij is rekening gehouden met de ontwerpdruk, ontwerptemperatuur, warmtespanningen als gevolg van een ongelijkmatige temperatuurverdeling, onderdruk, eigengewicht en beproevingsdruk.

De veiligheidsomhulling bezit een verscheidenheid aan doorvoeringen ten behoeve van mensen, materiaal, media en energie.

Sluizen

Tijdens het bedrijf van de reactor kan de veiligheidsomhulling slechts via gasdichte sluizen, die bestand zijn tegen de te verwachten druk, betreden worden. Dit vindt meestal plaats via de personensluis. De deuren van de sluizen gaan in de richting van de binnenruimte open. De beide deuren van iedere sluis zijn op zo'n manier ten opzichte van elkaar vergrendeld, dat steeds maar één van de deuren kan worden geopend. Het gebruik van de sluis is mogelijk bij maximale over- en onderdruk.

De afdichtingen van de deuren en de compensatieventielen zijn dubbel uitgevoerd.

De volgende sluizen zijn aanwezig:

- personensluis; de deuren daarvan worden elektro-hydraulisch bediend, maar kunnen echter in geval van een storing ook handmatig worden bediend;
- noodsluis; deze heeft deuren die handmatig moeten worden bediend en bevindt zich naast de materiaalsluis;
- materiaalsluis; deze bevindt zich op de 24 meter-vloer en is bemeeten voor het doorlaten van de transportcontainer voor splijstofelementen. De deuren worden elektro-hydraulisch bediend.

Leiding- en kabeldoorvoeringen

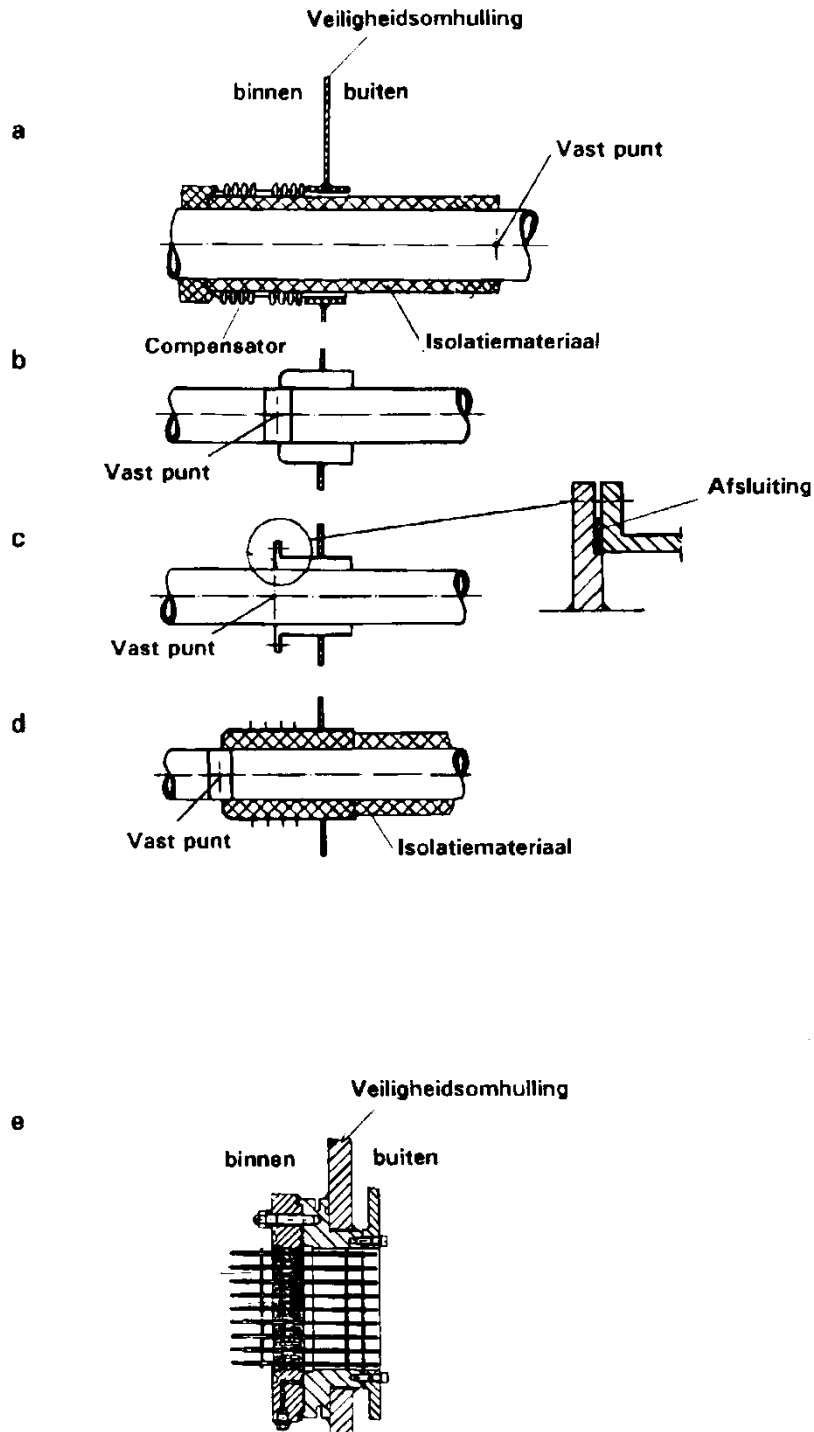
Met betrekking tot leiding- en kabeldoorvoeringen wordt onderscheid gemaakt op basis van de volgende constructie-kenmerken (zie figuur 5.6.1.1/4 a tot en met e):

- a. een pijpleiding die in de onmiddellijke nabijheid van de doorvoering een bevestigingspunt heeft. De wand van de veiligheidsomhulling hoeft slechts de inwendige weerstand van de compensatoren op te nemen. Voorbeelden hiervan zijn de hoofdstoom- en voedingswaterleidingen;
- b. een pijpleiding die in de doorvoering is bevestigd. De krachten die door de pijpleiding worden uitgeoefend, worden door de doorvoerstoppen in de wand van de veiligheidsomhulling opgenomen. Voorbeelden: de leidingen van de koelkringlopen, ventilatieleidingen en dergelijke;
- c. uitvoering als onder b; echter voor pijpleidingen die niet aan de doorvoerstop kunnen worden gelast;
- d. uitvoering als onder b; echter voor pijpleidingen met temperaturen boven 100 °C;
- e. vermogens-, regel- en meetkabels worden via speciale, druk- en temperatuurbestendige, gasdichte kabeldoorvoeringen door de wand van de veiligheidsomhulling gevoerd. Hierbij zijn alle typen doorvoeringen volgens hetzelfde principe opgebouwd en hebben zij voor de verbinding met de wand van de veiligheidsomhulling uniforme, genormaliseerde afmetingen. De doorvoeringen zijn beschermd tegen mechanische krachten.

Montage-opening

De veiligheidsomhulling is voorzien van een grote montage-opening, die dient voor het transport van

grote componenten. Het deksel van de opening is aan de wand van de veiligheidsomhulling vastgebout. De afdichting van de boutverbinding wordt verzorgd door twee in elkaar geplaatste afdichtingsramen, waarbij de lucht uit de tussenliggende ruimte kan worden afgezogen. In dit deksel van de montage-opening is de materiaalsluis aangebracht.



Figuur 5.6.1.1/4 Leiding- en kabeldoorvoeringen van de veiligheidsomhulling

De periodieke controles van de veiligheidsomhulling zijn onderverdeeld in controles van de afdichting van de doorvoeringen, functiecontroles van de sluisen en ventilatiekleppen, alsook controle voor het vaststellen van het totale lektempo. Dit zogenaamde integrale lekdichtheidsonderzoek wordt uitgevoerd als de centrale uit bedrijf is. De resultaten worden vergeleken met die van de eerste beproeving. Als beoordelingscriterium geldt dat de lekgrootte bij de ontwerpdruk van 4,8 bar niet groter is dan 0,25% (gewicht). Het integrale lekdichtheidsonderzoek wordt om technische redenen uitgevoerd bij een lagere druk van 2 bar waarbij dan de maximaal toelaatbare lekgrootte overeenkomstig is gereduceerd.

5.6.1.2 Reservesuppletiegebouw (33)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het 3 verdiepingen tellende reservesuppletiegebouw (zie figuur 5.6.1.2/1) zijn de reservesuppletiesystemen met eigen noodstroomaggregaten ondergebracht. Het betreft het primair en het secundair reservesuppletiesysteem (TW respectievelijk RS). Beide systemen zijn dubbel uitgevoerd.

De strangen van beide systemen zijn ondergebracht in onafhankelijke, door vloeren en wanden van elkaar gescheiden ruimten. Hierdoor is voor beide systemen "ruimtelijke scheiding van redundanties" gerealiseerd.

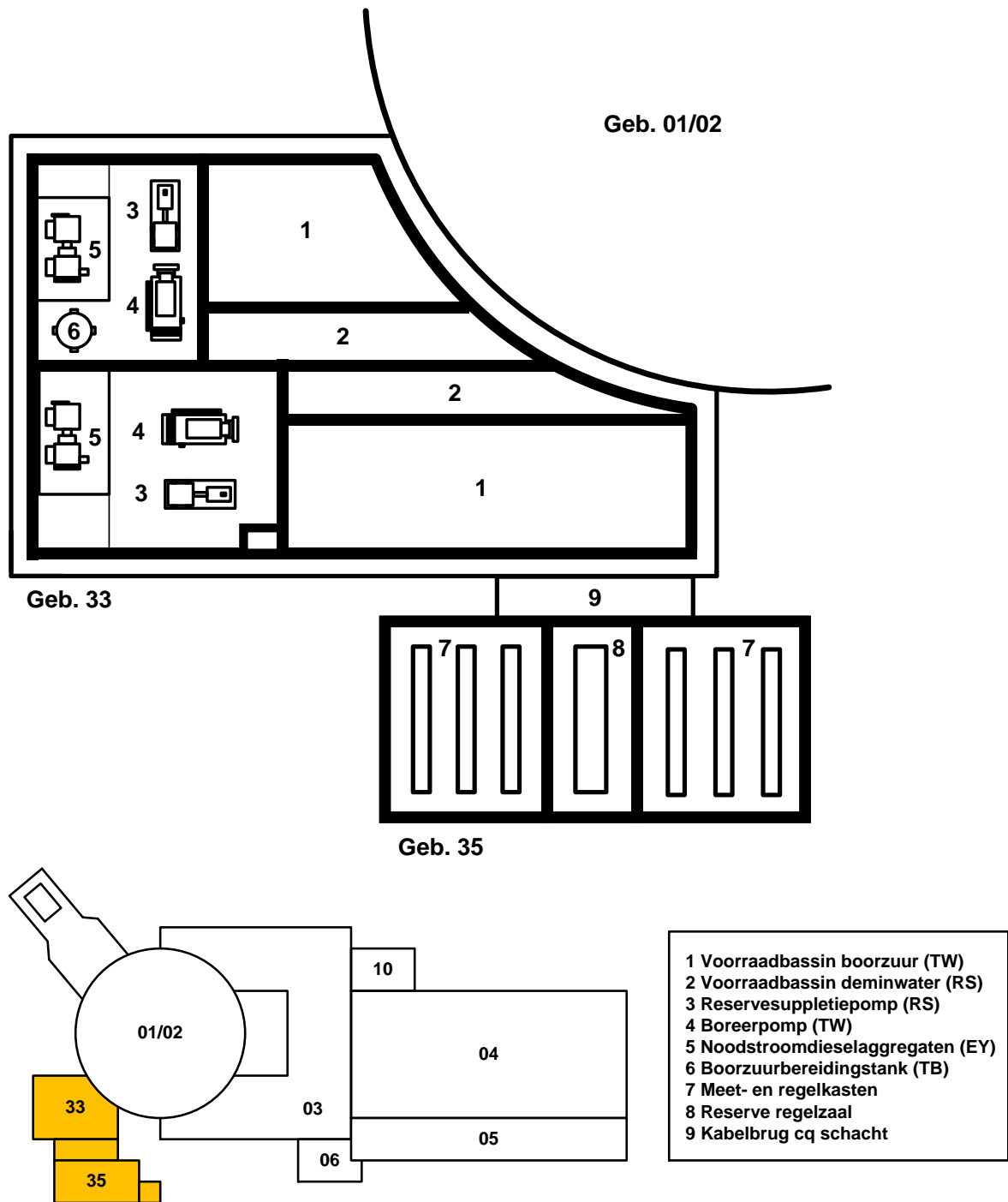
In het gedeelte van het gebouw (33) dat aan het reactorgebouw (01/02) grenst, bevinden zich, verdeeld over de groepen, telkens een voorraadbassin voor deminwater (RS) en een voorraadbassin voor geboreerd water (TW).

Deze bassins reiken van 1,4 m tot 9,5 m boven NAP. Inspectiebordessen bevinden zich boven de voorraadbassins. Op de onderste verdieping naast de bassins liggen de pompruimten met primaire (TW) en secundaire (RS) reservesuppletiepompen. Verder bevinden zich op de onderste verdieping en gescheiden van de pompruimten, de dieselruimten met noodstroomdieselaggregaten (EY040 en EY050).

In één van beide pompruimten is bovendien de bereidingstank voor geboreerd water van het chemicaliëndoseersysteem (TB) opgesteld, waarmee het geboreerde water voor de voorraadbassins (TW) wordt aangemaakt. Op de middelste verdieping zijn de dieselvoorradetanks en voorzieningen voor toevoerlucht voor de diesels en de ruimte- ventilatie ondergebracht. Op de bovenste verdieping bevinden zich de componenten van het noodstroomnet 2 en een deel van de drievoudig redundant uitgevoerde meet- en regeltechnische componenten van de reactorbeveiliging (YZ).

Op het dak van het gebouw bevinden zich de uitlaten van de koelmachines en geluiddempers van de dieselmotoren alsook de tegen externe invloeden beschermde kabelbruggen die de verbinding met het reserveregelzaalgebouw (35) vormen. De leidingen en kabels van het reservesuppletiegebouw worden in een tegen externe invloeden beschermde aanbouw tegen de wand van het reactorgebouw tot op 20,0 m boven NAP omhooggeleid en daar in het reactorgebouw gevoerd.

De toevoer van ventilatie- en verbrandingslucht vindt voor iedere groep apart plaats via toevoerkanalen aan de buitenzijde van het gebouw en luchttoevoeropeningen in de gevels. De aanzuigopeningen zijn ruim boven het ontwerp-overstromingsniveau van 7,3 m boven NAP geplaatst.



Figuur 5.6.1.2/1 Reservesuppletie- en reserveregelzaalgebouw (33/35)

Toegang

Het gebouw is aan de buitenkant voorzien van een bordes, dat boven het ontwerp-overstromingsniveau ligt. Dit bordes is via stalen trappen bereikbaar. Vanaf dit bordes heeft men toegang tot de verschillende groepen. Via het bordes is tevens het omloopbordes van het reserveregelzaalgebouw bereikbaar. De zuidwestelijke groep van het reservesuppletiegebouw heeft bovendien een extra nooduitgang.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden slechts tijdens inspectieronden, periodieke beproevingen en onderhouds- en reparatiewerkzaamheden betreden.

Bouwkundige beschrijving

Het reservesuppletiegebouw heeft een paalfundering met een fundatieplaat van gewapend beton. De dragende constructie van het gebouw bestaat uit wanden en vloeren van gewapend beton.

5.6.1.3 Reserveregelzaalgebouw (35)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het reserveregelzaalgebouw (zie figuur 5.6.1.2/1) zijn de elektrotechnische en meet- en regeltechnische componenten van de reactorbeveiliging alsmede de reserve-regelzaal ondergebracht.

Het gebouw heeft twee verdiepingen. Op de benedenverdieping bevinden zich drie ruimten met elektronica- en ontkoppelingskasten. Op de bovenverdieping zijn ruimten voor schakelinstallaties, elektronicakasten alsook de reserve-regelzaal ondergebracht.

De kabelschachten van de afzonderlijke gebouwgroepen leiden naar de tegen externe invloeden beschermde kabelkanalen op het dak van het gebouw die de verbinding vormen met het reservesuppletiegebouw (33).

Toegang

De ruimten van de afzonderlijke redundanties en de reserve-regelzaal hebben eigen toegangen. In de verticale kabelschachten zijn klimvoorzieningen aangebracht, waardoor een extra vluchtroute naar het reservesuppletiegebouw is gecreëerd.

De buitentoegangen zijn bereikbaar vanaf het om het gebouw aangebrachte omloopbordes. Dit omloopbordes is toegankelijk via twee trappen en vanaf het bordes van het reservesuppletiegebouw. De toegangen en het omloopbordes bevinden zich boven het ontwerp-hoogwaterniveau.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden alleen tijdens inspectieronden en voor onderhouds- en reparatiewerkzaamheden betreden. Wanneer nodig, is de reserve-regelzaal ook gedurende een langere periode bemand.

Bouwkundige beschrijving

Het gebouw heeft een paalfundering met een fundatieplaat van gewapend beton. De dragende constructie van het gebouw en de wanden en vloeren zijn eveneens van gewapend beton.

5.6.2 Andere gebouwen en bouwkundige constructies

5.6.2.1 Reactorhulpgebouw en ventilatieschacht (03/13)

Reactorhulpgebouw (03)

In het reactorhulpgebouw zijn de hulpinstallaties ondergebracht, die onmisbaar zijn voor een ongestoord bedrijf van de centrale. Het reactorhulpgebouw (zie figuur 5.6.1.1/3) omsluit voor de helft het reactorgebouw; het heeft vier hoofdverdiepingen en drie tussenverdiepingen.

Op het dak van het reactorhulpgebouw bevindt zich in een stalen opbouw het afblaasstation en de ventilatieschacht (13). Vanuit het afblaasstation voeren de hoofdstoomleidingen (RA) over het dak van het reactorhulpgebouw naar het machinegebouw (04). Het afblaasstation is door een tussenwand in tweeën gedeeld.

Op de bovenste verdieping bevindt zich de overgang naar het dienstgebouw (06) alsook de toegang tot het gecontroleerd gebied waaronder de personensluis van het reactorgebouw. Tevens bevinden zich op deze etage de EHBO-post, laboratoria, ruimten ten behoeve van radioactieve metingen en kantoren.

Op de tweede verdieping bevinden zich de luchttoevoer- en luchtafvoersystemen en de airconditioninginstallatie van het gecontroleerd gebied, alsook de verdamperinstallatie van het radioactief afvalwatersysteem (TR).

Op de eerste verdieping zijn de decontaminatieruimten, het chemicaliënmagazijn en de "hete" werkplaats ondergebracht ("heet" wil zeggen geschikt voor werkzaamheden aan mogelijk besmette of geactiveerde onderdelen). Bovendien staan daar de aanmaakinstallatie voor geboreerd water van het chemicaliëndoseersysteem (TB), de filterinstallatie (TR) en de volumeregeltank van het volumeregelsysteem (TA).

Op de onderste verdieping staan de afvalwaterverzamel- en controletanks (TR), de pompen en -koelers van de nucleaire tussenkoelkringloop (TF), de pompen en -tanks voor geboreerd water (TB), en de vatenpers (TT) in de afvalbunker; ook de mobiele installatie voor het verwerken van radioactief vast afval (TT) bevindt zich hier.

De vier grote koelmiddelopslagtanks van het koelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD) en de vier kerninundatiebuffertanks (TJ) strekken zich uit vanaf de eerste tussenverdieping tot onder het dak.

Toegang

De toegang tot het reactorhulpgebouw en daarmee tot het gecontroleerd gebied, is via het dienstgebouw (06). Op de begane grond, de eerste en de tweede etage bevinden zich toegangen tot de ringruimte van het reactorgebouw (02). Bovendien zijn op de bovenste verdieping nooduitgangen naar het machinegebouw (04) en het schakelgebouw (05) aanwezig. Op de eerste verdieping liggen de ruimten die vanwege hun functie een toegang van buitenaf hebben, zoals de "hete" werkplaats met decontaminatieruimte. Deze toegangen zijn normaal gesloten.

Gebruik van de ruimten

Ruimten waarin zich voortdurend personen bevinden, zijn alleen gelegen op de bovenste verdieping. Dit zijn met name de toegang tot het gecontroleerd gebied, de kleed-, was- en doucheruimten, alsook laboratoria en kantoren.

In de "hete" werkplaats wordt alleen gewerkt wanneer dit nodig is. De overige ruimten in het gecontroleerd gebied worden alleen voor inspecties en onderhouds- en reparatiewerkzaamheden voor minimale duur betreden.

Bouwkundige beschrijving

De fundering van het reactorhulpgebouw bestaat, net als die van het reactorgebouw, uit een fundatieplaat van gewapend beton op palen. De constructie is opgetrokken uit gewapend beton. De dikte van wanden en vloeren is conform de eisen van de stralingsbescherming. Het gebouw heeft in dwarsrichting twee dilatatievoegen en is net als het reactorgebouw voorzien van een grondwaterisolatie die bestand is tegen de te verwachten waterdruk. Het gebouw heeft een plat dak met daarop een staalconstructie ten behoeve van het afblaas-station.

Interieur

De wanden en plafonds in het gecontroleerd gebied zijn voorzien van een decontamineerbare coating. De vloeren hebben eveneens een decontamineerbare beschermlaag. De deuren zijn van plaatstaal.

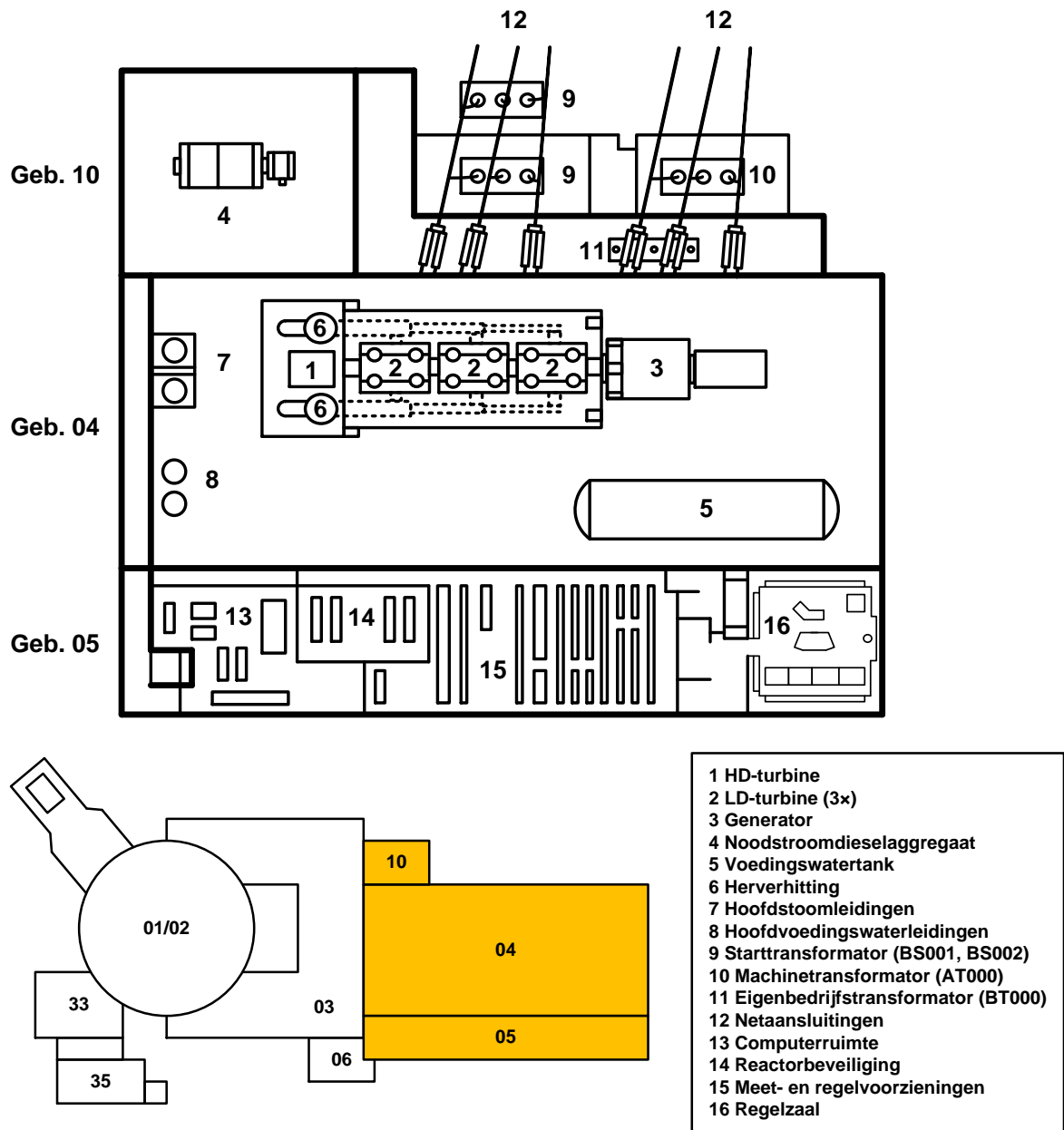
Ventilatieschacht (13)

De ventilatieschacht van gewapend beton reikt tot ongeveer 60,0 m boven NAP. De ventilatieschacht is bovenop het reactorhulpgebouw geplaatst, direct tegen de secundaire afscherming van het reactorgebouw. De af te voeren lucht wordt via kanalen van plaatstaal vanuit het reactorhulpgebouw naar de ventilatieschacht gevoerd.

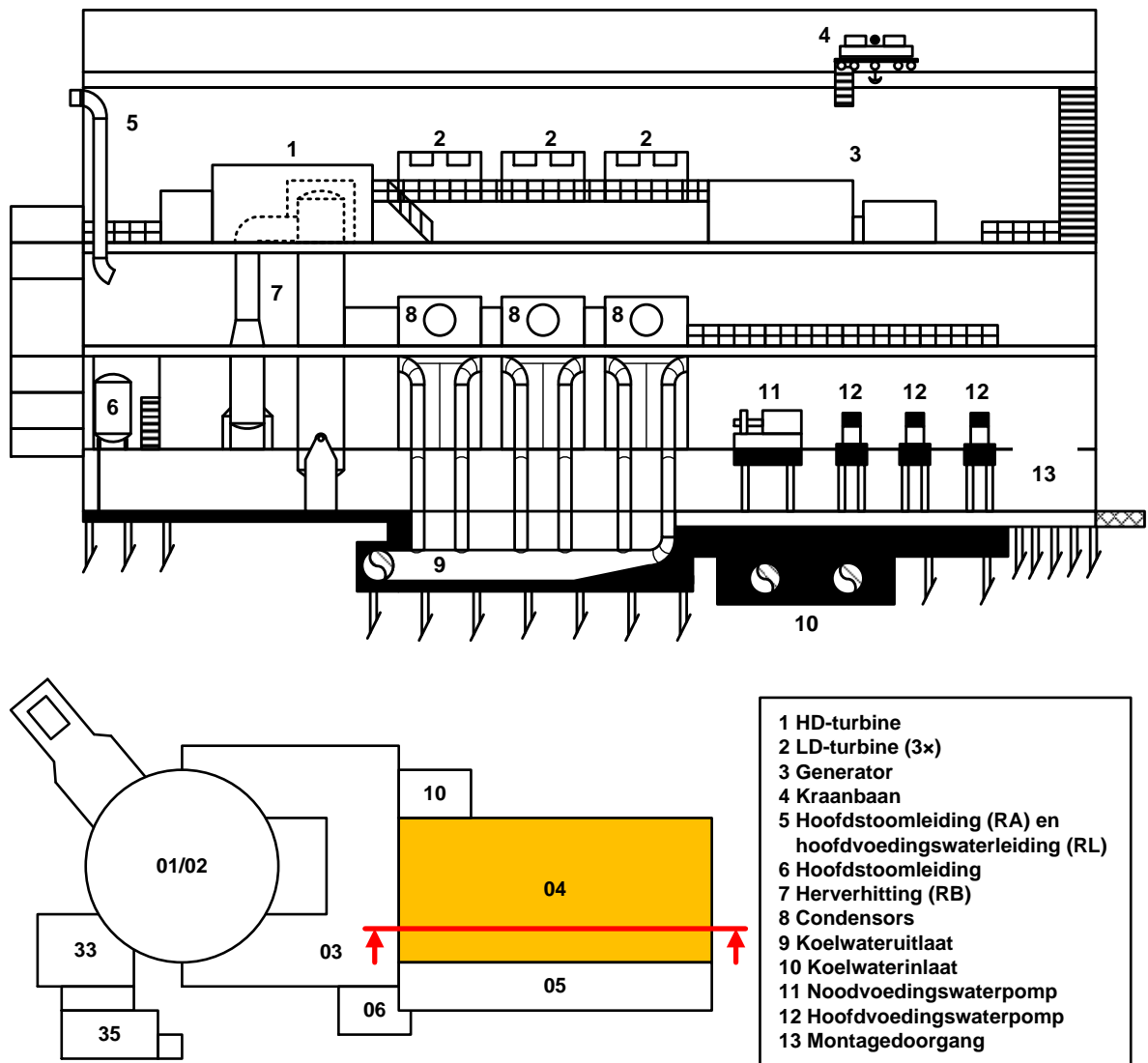
5.6.2.2 **Machinegebouw (04)**

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het twee verdiepingen tellende machinegebouw (zie figuur 5.6.2.2/1 en 5.6.2.2/2) zijn de belangrijkste installaties van de water-stoom-kringloop ondergebracht. De hoofdstoomleidingen lopen van het reactorgebouw over het dak van het reactorhulpgebouw (03) met compensatiebochten naar het machinegebouw.



Figuur 5.6.2.2/1 Machinegebouw (04), schakelgebouw (05) en noodstroomdieselgebouw I (10)



Figuur 5.6.2.2/2 Machinegebouw (04)

Op de turbinevloer bevinden zich de turbogeneratorgroep en de voedingswatertank. Daarboven ligt de kraanbaan van de grote brugkraan.

Op de onderste verdieping bevinden zich de condensaatverzamel tank, de condensaatkoelers alsook de hoofdcondensaatpompen (RM). Aan het zuidoostelijke einde van het gebouw bevindt zich de montage doorgang. Verder wordt deze verdieping in beslag genomen door kabels en pijpleidingen.

Op het eerste tussenbordes zijn de kastcondensators, de drie hoofdvoedingswaterpompen (RL) en de drie noodvoedingswaterpompen (RL) geplaatst. Tegen de wand van het reactorhulpgebouw bevindt zich de koelmachine-installatie en een afgesloten ruimte voor het demineraliseren van de spui van de stoomgeneratoren. Voorts zijn op dit bordes de voorwarmers (RL) geïnstalleerd.

Op het tweede tussenbordes is in een gemetselde ruimte de olievoorziening van de turbogeneratorgroep ondergebracht. Aan weerszijden van deze ruimte zijn de herverhitters geplaatst, die van de onderste etage tot 21,0 m boven NAP reiken. Tevens staan hier de beide waterafscheiders opgesteld.

De generatoraftakleiding loopt van de generator naar de hoofdtransformator, die tegen de noordoostelijke wand geplaatst is. Onder de generatoraftakleiding bevindt zich in de buitenlucht de eigenbedrijfstransformator.

Toegang

Alle transporten van componenten met grote afmetingen vinden plaats via de montage doorgang; deze is afgesloten door zware buitendeuren. De beide hoofdtrappenhuizen van het schakelgebouw (05) fungeren als brandvrije vluchtwegen.

Bouwkundige beschrijving

Het machinegebouw heeft een aparte fundatieplaat van gewapend beton en een paalfundering. De draagconstructie is van staal. De buitenwanden bestaan uit dubbele aluminiumbeplating met tussenliggende isolatie.

Om overbrenging van trillingen tegen te gaan, is de constructie van het gebouw door middel van voegen gescheiden van het turbinefundament. De holle ruimte van het turbinefundament wordt gebruikt als voorraadbassin voor het conventioneel tussenkoelwatersysteem (VG) en voor de deminwatersuppletie.

Alle deuren en poorten zijn van staal en waar nodig als brandafscherming uitgevoerd.

5.6.2.3 Schakelgebouw (05)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

Het schakelgebouw is een gebouw van zes verdiepingen; het bevat de elektrotechnische apparatuur voor het bedrijven van de kernenergiecentrale. Het is tegen de lange zijde van het machinegebouw (04) aangebouwd (zie figuur 5.6.2.2/1).

Op de onderste verdieping bevindt zich de kabelkelder met de doorgang naar het machinegebouw (04). Op de eerste verdieping zijn de 6 kV- en de 400 V-schakelinstallaties en de traforuimten ondergebracht. Op de tweede verdieping bevinden zich de gelijkrichters, de draaistroomomvormers en de verdelers met de bijbehorende kabel- en de batterij-ruimten. Op de derde verdieping staan de rangeerverdelers en meet- en regeltechnische voorzieningen opgesteld. Op de vierde verdieping zijn de regelzaal, computers en meet- en regeltechnische voorzieningen ondergebracht. De bovenste verdieping bevat de ventilatie-installaties voor machinegebouw en schakelgebouw alsook de airconditioning voor regelzaal en computerruimte.

Toegang

Een van buitenaf toegankelijk centraal trappenhuis in het schakelgebouw met aangrenzende lift verbindt alle verdiepingen met elkaar. Het dient tevens als vluchtroute, in combinatie met het trappenhuis van het dienstgebouw. Bovendien zijn er nog in- en uitgangen van en naar het machinegebouw aanwezig.

Gebruik van de ruimten

De ruimten op alle verdiepingen van het schakelgebouw zijn niet voor een constant verblijf van personen bedoeld. Zij worden slechts voor inspecties en onderhouds- en reparatiedoeleinden betreden. Uitzonderingen hierop vormen de regelzaal en de relaiswerkplaats.

Bouwkundige beschrijving

Het gebouw is gefundeerd op palen. De draagconstructie is een skelet van gewapend beton met een gevelbekleding van geprefabriceerde betonplaten. De vloeren zijn evenals het dak van gewapend beton. Alle deuren en poorten zijn uitgevoerd in overeenstemming met hun functie en te stellen eisen ten aanzien van bijvoorbeeld brandwerendheid.

De fundaties voor de transformatoren zijn van gewapend beton. Onder elke transformator bevindt zich een olie-opvangbak met aansluitingen op een centrale olieverzamelput. De transformatoren zijn door middel van brandmuren van elkaar gescheiden.

5.6.2.4 **Dienstgebouw (06)**

Het dienstgebouw ligt in het verlengde van het schakelgebouw (05) tegen het reactorhulpgebouw (03) aan; het bezit op elke verdieping een directe verbinding met het schakelgebouw (05). Deze verbindingen doen tevens dienst als vluchtroutes.

De constructie van het dienstgebouw komt overeen met die van het schakelgebouw (05).

5.6.2.5 **Noodstroomdieselgebouwen I en II (10/72)**

Noodstroomdieselgebouw I (10)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het noodstroomdieselgebouw I bevinden zich de componenten van de reservevoeding van het noodstroomnet 1. Het gebouw grenst aan de noordzijde van het machinegebouw en aan de zuidoostkant van het reactorhulpgebouw (zie figuur 5.6.2.2/1).

Op de onderste verdieping is de brandstofvoorraadtank ondergebracht. Het reserve noodstroomdieselaggregaat met het bijbehorende lokale bedieningspaneel en de noodstroomschakelinstallatie zijn op de tussenverdieping opgesteld. Op de bovenste verdieping bevinden zich de schakelinstallatie en het startsysteem van het reserve noodstroomdieselaggregaat. De ventilatieafvoer en de geluiddemper in de dieseluitlettingsleiding zijn op het dak geplaatst.

De toevoer van ventilatie- en verbrandingslucht vindt plaats via luchttoevoeropeningen in de gevel, die voorzien zijn van jaloezieën.

Toegangen, trappen

Het noodstroomdieselgebouw I is vanuit het machinegebouw bereikbaar.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden alleen betreden voor inspectieronden, periodieke beproevingen en onderhouds- en reparatiewerkzaamheden.

Indien nodig is de ruimte met het bedieningspaneel gedurende langere tijd bemand. Deze ruimte is daarom door een geluidsisolerende wand gescheiden van de aggregaatruimte, maar wel in de onmiddellijke nabijheid daarvan gesitueerd.

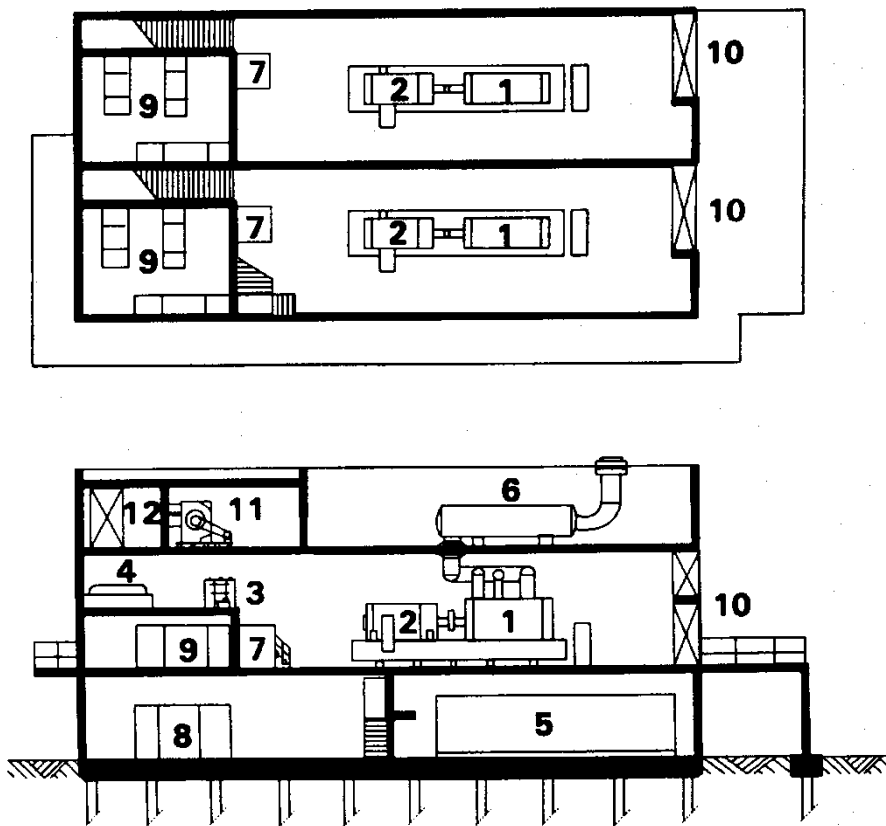
Bouwkundige beschrijving

Het gebouw heeft een paalfundering en is uitgevoerd in betonskeletbouw. De vloeren en trappen zijn van gewapend beton, de tussenwanden zijn gemetseld. Vanwege de brandveiligheidseisen is compartimentering toegepast en een opvangbak bij de brandstoftank aangebracht.

Noodstroomdieselgebouw II (72)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het noodstroomdieselgebouw II zijn componenten van het noodstroomnet 1 ondergebracht. Het gebouw bestaat uit drie verdiepingen en een tussenverdieping tussen de middelste en de bovenste etage; het is in twee van elkaar gescheiden gebouwgroepen onderverdeeld. In elke gebouwgroep bevinden zich de componenten van één strang van het noodstroomnet 1 (zie figuur 5.6.2.5/1).



- | | | | |
|---|---|----|---|
| 1 | Dieselmotor | 8 | Roterende omvormers met schakelinstallaties |
| 2 | Generator | 9 | Elektro- en meet- en regeltechnische apparatuur |
| 3 | Luchtverzorging voor het Starten van de diesels | 10 | Ventilatie-inlaat |
| 4 | Brandstofdagtank | 11 | Ventilator |
| 5 | Brandstofvoorraadtank | 12 | Ventilatie-uitlaat |
| 6 | Geluidemper dieseluitlaat | | |
| 7 | 6 kV-kast | | |

Figuur 5.6.2.5/1 Noodstroomdieselgebouw II (72)

Op de onderste verdieping zijn de brandstofvoorradetanks en de roterende omvormers met de bijbehorende schakelinstallaties ondergebracht. Op de middelste etage staan de noodstroomdieselaggregaten met de bijbehorende lokale bedieningspanelen alsook de kasten met elektro- en meet- en regeltechnische apparatuur. Op de tussenverdieping bevinden zich de luchtverzorging voor het starten van de dieselmotoren en de dagtank voor de dieselbrandstof. De ventilatie-afvoer en de geluiddempers van de uitlaatgassenleidingen zijn op het dak geplaatst evenals de ventilatorluchtcoolers voor het koelen van de dieselmotoren.

De toevoer van ventilatie- en verbrandingslucht vindt voor elke groep apart plaats, via ventilatieopeningen in de voorgevel.

Vóór het gebouw ter hoogte van de eerste verdieping is een montageplatform aangebracht.

Toegang

De toegangen in het gebouw zijn in beide groepen op dezelfde manier gesitueerd. De toegangen vanaf de buitenzijde liggen aan de noordoost- en aan de zuidwestzijde boven het ontwerp-hoogwaterniveau. Via een brug kunnen zij vanaf het schakelgebouw worden bereikt. Voor noodgevallen zijn bij de omvormers, de generatoren en de brandstofdagtanks tussendeuren aanwezig, die als vluchtroute kunnen dienen.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden alleen voor inspectieronden, periodieke beproevingen en onderhouds- en reparatiewerkzaamheden betreden.

Indien nodig is de ruimte met het bedieningspaneel gedurende langere tijd bemand. Deze ruimte ligt naast de aggregaatriimte en is daarvan akoestisch gescheiden.

Bouwkundige beschrijving

Het noodstroomdieselgebouw II heeft een paalfundering met een fundatieplaat van gewapend beton. De opgaande constructie is eveneens van gewapend beton. Aan de brandveiligheidseisen is door compartimentering en het aanbrengen van opvangbakken onder de brandstoftanks voldaan. De grote openingen voor luchttoe- en -afvoer zijn opgevuld met geluidisolerende coulissen.

5.6.2.6 Deminwateraanmaakgebouw (09)

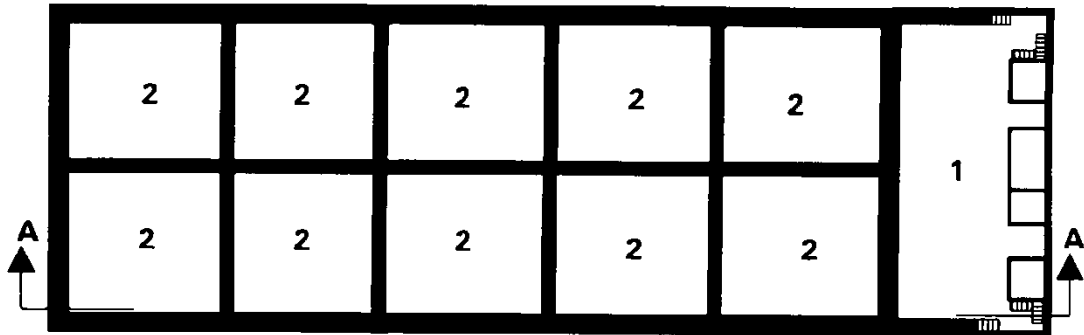
Het deminwateraanmaakgebouw is aan de zuidoostkant tegen het magazijn (gebouw 08) aangebouwd. Het bevat de demineraliseringsinstallatie waarin water wordt gedeïoniseerd, opslagtanks in opvangbakken voor natronloog en zwavelzuur en een magazijn voor chemicaliën. Alle wanden en vloeren zijn voorzien van een chemicaliën-bestendige afwerking en overeenkomstig de normen voor het veilig werken met chemicaliën zijn er brandbestrijdings- en douchevoorzieningen aangebracht. Het gebouw staat via een ondergrondse pijpleiding in verbinding met het machinegebouw.

5.6.2.7 Afvalopslaggebouw (34)

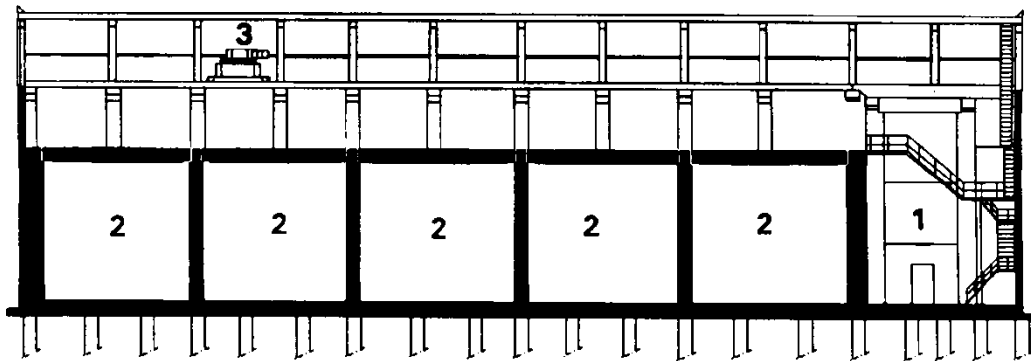
Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

Het afvalopslaggebouw doet dienst als tussenopslag van radioactief afval (zie figuur 5.6.2.7/1).

Horizontale doorsnede:



Doorsnede A-A:



- | | |
|---|--------------|
| 1 | Ontvangsthal |
| 2 | Opslagruimte |
| 3 | Kraan |

Figuur 5.6.2.7/1 Afvalopslaggebouw (34)

Ook kunnen er licht radioactief besmet materialen zoals gereedschappen, hulpstukken en steigermateriaal en de mobiele cementeerinstallatie, voor de verwerking van radioactief afval, opgeslagen worden. Het te bewaren radioactieve afval is voorberekt en verpakt in vaten of containers. Door de aard van dit afval is geforceerde ventilatie of koeling niet vereist.

De stralingsbelasting van het personeel en de omgeving van het gebouw wordt door middel van afscherming zo laag als redelijkerwijs mogelijk en ruim onder de geldende wettelijke limieten gehouden. Afgifte van radioactieve gassen of vloeistoffen vindt niet plaats als gevolg van de kwaliteit van de opgeslagen vaten en containers.

Het gebouw bestaat uit een ontvangsthal voor de aan- en afvoer van de verpakkingen en een opslaggedeelte. Het opgeslagen afval wordt afgeschermd door wegneembare betonplaten. Het plaatsen en wegnemen van de vaten en de containers gebeurt met behulp van een kraan. Het opslaggedeelte is beveiligd tegen overstroming.

Het afvalopslaggebouw is ongeveer 60 m lang, 27 m breed en 13 m hoog. Het gebouw heeft een paalfundering en is tot een niveau 12,4 m boven NAP uitgevoerd in beton; het bovenste gedeelte en het dak is uitgevoerd als staalconstructie met beplating. Het opslaggedeelte bestaat uit 10 afzonderlijke compartimenten die met wegneembare liggers zijn afgedekt. Rondom het opslaggedeelte is de betonwand waterdicht uitgevoerd tot een hoogte van 9,2 m boven NAP ter beveiliging tegen overstromingen. In verband met afschermingseisen hebben de wanden en vloeren een dikte tussen 0,5 en 1,0 m.

Het ontvangstgedeelte bestaat uit de circa 10 m brede ontvangsthal en de ruimte boven het opslaggedeelte. Voor het weghalen/terugplaatsen van de afdekliggers alsmede het plaats/verwijderen van vaten en containers kunnen 2 brugkranen het hele ontvangstgedeelte bestrijken.

Toegang

De toegang tot het afvalopslaggebouw vindt plaats via de ontvangsthal. Aan de noordwest- en de zuidoost-zijde van de ontvangsthal bevindt zich een toegang voor vrachtwagens. Er is rekening gehouden met een eventueel in de toekomst aan te sluiten spoorwegverbinding. De personeelsingang bevindt zich eveneens in de ontvangsthal.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden betreden door bedieningspersoneel tijdens het opslaan en afvoeren van afval, en door onderhoudspersoneel. Er is voldoende (inpanidige) afscherming en ventilatie aanwezig.

5.6.2.8 Koelwatervoorzieningen in de gebouwen 20, 21, 22, 23 en 24

De voor de kernenergiecentrale benodigde hoeveelheid koelwater wordt aan de Westerschelde onttrokken en, na door de centrale te zijn gestroomd, weer naar de Westerschelde teruggevoerd. De koelwaterketen bestaat uit de volgende onderdelen:

- koelwatertoevoer (20);
- koelwaterinlaatgebouw (21);
- koelwaterleidingen (22);
- koelwateruitlaatgebouw (23);
- koelwaterafvoer (24).

De koelwatertoevoer, waarvan de bodem op 5,5 m beneden NAP ligt, is een open toeloopkanaal. Vóór het koelwaterinlaatgebouw is de bodem van het kanaal tot 8,0 m beneden NAP verlaagd. Door regelmatig te baggeren wordt ervoor gezorgd dat in het kanaal een niveau van 4,7 m beneden NAP

is gewaarborgd en bij het koelwaterinlaatgebouw van 7,0 m beneden NAP (overeenkomend met het niveau van de onderkant van de inlaatopeningen).

Het koelwaterinlaatgebouw ligt aan de zeezijde van de dijk. Het bevat in totaal vijf reinigings- en pompstraten. Achter een doorlopende, dwarsgeplaatste kamer bevinden zich de hoofdkoelwaterpompen (VC). In vier van deze pompkamers zijn tevens de nevenkoelwaterpompen (VF) geïnstalleerd.

Het dak van het gebouw met daarin de openingen voor luchtafvoer ligt boven het ontwerp-overstromingsniveau op 7,4 m boven NAP. Alle natte kamers kunnen met schotbalken worden afgesloten en worden leeggepompt. Het afval dat in het tralierooster (krooshek) terecht komt wordt opgevangen en afgevoerd.

Vanaf het koelwaterinlaatgebouw lopen drukleidingen door de dijk in een ondergronds tracé naar de kernenergiecentrale. Deze pijpleidingen kruisen de dijk met hun onderkant op 5,5 m boven NAP. Om hevelwerking in geval van een leidingbreuk aan de landzijde tegen te gaan, zijn in de leidingen op de dijkkruij automatische be- en ontluuchtingskleppen geïnstalleerd. De nevenkoelwaterleidingen en de voedingskabels naar het koelwaterinlaatgebouw volgen een vergelijkbaar tracé.

Het terugstromende koelwater wordt door een betonnen pijpleiding vanuit de centrale, door de dijk heen naar het koelwateruitlaatgebouw geleid. De constructie van deze pijpleiding en de kruising met de dijk zijn overeenkomstig die in de toevoerleiding uitgevoerd. Voor het overbruggen van het hoogteverschil bij de kruising met de dijk is een onderdruk pomp geïnstalleerd.

5.6.2.9 Overige gebouwen (07, 08, 14, 15, 16, 32, 48, 49, 65, 77 en 78)

Tot de infrastructuur van de centrale behoren nog een aantal andere gebouwen, waarvan de belangrijkste zijn (zie figuur 5.6/1):

- bewakingsloge (14);
- kantoorgebouwen (15), (32), (49), (65), (77) en (78);
- archief/tekenkamer (08);
- werkplaatsen (07) en (16);
- brandweerkazerne (48).

De hier genoemde gebouwen bevatten geen voor het veilig bedienen van de installatie relevante apparatuur. De bewakingsloge is van belang met betrekking tot de beveiliging van de centrale. De andere gebouwen zijn nodig voor de bedrijfsvoering in ruimere zin. Al naar gelang de inzichten van de bedrijfsleiding zullen zij dan ook naar behoefte kunnen worden aangepast.

5.7 KWALIFICATIE VAN APPARATUUR

Het doel van kwalificatie van werktuigkundige (W) componenten, civiele (C) componenten en elektrische en instrumentatie (E&I) is om de geschiktheid voor het vervullen van de ontwerpfunctie gedurende hun ontwerplevensduur gedocumenteerd aan te tonen. Het gaat hierbij om componenten met een nucleaire veiligheidsfunctie. Kwalificatie omvat het spectrum van vaststellen van de eisen, bestellen, ontvangen, inbouwen, bedrijfvoeren, magazijnopslag, instandhouden, beproeven, etc. van veiligheidscomponenten.

De mate van kwalificatie, met name de bestendigheid tegen de omgevingscondities waartegen de componenten aantoonbaar bestand moeten zijn, is gebaseerd op de veiligheids- en aardbevingsklassering. De omvang van het kwalificatieprogramma voor E&I-componenten (typebeproevingen) is afhankelijk van het toepassingsgebied van de component. Door middel van kwalificatie wordt aangetoond dat een component aan het eind van de beoogde technische levensduur zijn veiligheidsfunctie nog kan vervullen. Hierbij wordt rekening gehouden met veroudering als gevolg van verhoogde temperatuur, vochtigheid of ioniserende straling.

Voor W-componenten is de kwalificatie vooral een materiaalkeuze-aangelegenheid. Daarbij wordt door middel van materiaalcertificaten aangetoond dat de geschikte materialen voor de geleverde componenten zijn toegepast. Verder wordt de kwalificatie zeker gesteld door stuksbeproeving en inspectie tijdens de bouw van de component waarmee wordt aangetoond dat deze voldoet aan de gespecificeerde eisen. Bij nieuw te bestellen W-componenten wordt een specificatie opgesteld. Hierin staan naast de materiaaleisen de functionele eisen voor de component gespecificeerd. Als bewijsvoering dat de gespecificeerde materialen zijn gebruikt worden materiaalcertificaten meegeleverd. Verder moet er rekening worden gehouden met de Nederlandse wet- en regelgeving hierover, zoals de Warenwet Regeling Drukapparatuur en de Regeling Nucleaire Drukapparatuur.

5.8 MENS-MACHINE-RELATIE

In dit hoofdstuk wordt de mens-machine-relatie behandeld. De eerste paragraaf gaat in op de uitgangspunten die ten aanzien hiervan bij het ontwerp zijn toegepast. De tweede paragraaf behandelt de organisatorische voorzieningen.

5.8.1 Uitgangspunten voor het ontwerp

Ten aanzien van de uitgangspunten voor het ontwerp worden de ergonomische uitgangspunten, de meet- en regeltechnische uitgangspunten en de betreffende uitgangspunten ten aanzien van de beveiliging tegen externe invloeden behandeld.

Ergonomische uitgangspunten

Het ergonomisch ontwerp is erop gericht om fouten, die door het personeel van de centrale bij het opnemen van informatie en bij het uitvoeren van handelingen gemaakt zouden kunnen worden, tot een minimum te beperken. Hierdoor wordt een veiligheidstechnisch optimale handelswijze van het personeel ondersteund.

Bij het uitvoeren van wijzigingsprojecten of (onderhouds)werkzaamheden wordt rekening gehouden met ergonomische aspecten en wordt voorkomen dat bestaande ergonomische principes worden verstoord (zie paragraaf 9.7).

Bij de regelzaal is met name aan de volgende aspecten aandacht geschonken:

- een op de functies gebaseerde indeling;
- een overzichtelijke rangschikking;
- taak- en probleemgerichte presentatie en bewerking van informatie;
- inrichting van de werkplek.

Bovengenoemde principes zijn in de regelzaal in hun volle omvang toegepast. In de reserve-regelzaal is daarbij rekening gehouden met het speciale takenpakket en de geringere gebruiksfrequentie. Bij de lokale bedieningspanelen zijn genoemde principes toegepast afhankelijk van het speciale takenpakket en de functionaliteit. Zie ook paragraaf 6.4.3.

Ten aanzien van werkzaamheden en lokale bedieningshandelingen is rekening gehouden met de specifieke taken voor wat betreft de toegankelijkheid, de optimale taakuitoefening en de werkomstandigheden. Lokale taakuitoefening in voor de mens zeer zwaar belastende omstandigheden wordt zoveel mogelijk vermeden en door middel van afstandsbediening gerealiseerd. Indien de omstandigheden ontoelaatbaar zijn worden de betreffende werkzaamheden te allen tijde door middel van afstandsbediening uitgevoerd.

Door de toepassing van standaardisatie ten aanzien van informatiepresentatie, bediening en uitvoering van componenten en constructies, en voor geoptimaliseerde en onderhoudsvriendelijke uitvoeringen worden taken vereenvoudigd en wordt het optreden van fouten geminimaliseerd. Systemen en componenten in de installatie zijn duidelijk herkenbaar voorzien van coderingen, waardoor het optreden van fouten eveneens wordt beperkt.

Meet- en regeltechnische uitgangspunten

De centrale wordt vanuit de regelzaal beheerst, gecontroleerd en bestuurd. Van hieruit wordt het technisch verloop van het proces bewaakt en geregeld en wordt de communicatie tussen het personeel in de centrale en de buitenwereld tot stand gebracht.

Als de regelzaal niet beschikbaar is, kan de centrale vanaf de reserve-regelzaal in een veilige toestand gebracht en gehouden worden.

Behalve de regelzaal en de reserve-regelzaal zijn er nog lokale bedieningspanelen voor taken die ter plaatse uitgevoerd moeten worden. Het ontwerp van de regelzaal, de reserve-regelzaal en de lokale bedieningspanelen gaat er van uit dat er omvangrijke automatische meet- en regelapparatuur aanwezig is, die voldoet aan de eisen die gesteld worden met betrekking tot de veiligheid en de beschikbaarheid van de centrale. Hierdoor wordt het personeel in belangrijke mate ontlast van routine-activiteiten wanneer de centrale conform de voorschriften werkt. Dit heeft tot gevolg dat het personeel zich voor een groot deel kan wijden aan voor de veiligheid van belang zijnde zaken.

30-minuten criterium

Voor het beheersen van ongevallen zijn de beveiligingsmeet- en regelsystemen zo ontworpen, dat zij voldoen aan de eisen die voortvloeien uit het zogenaamde 30-minuten criterium voor het automatisch in werking stellen van de veiligheidsmaatregelen. Dit criterium houdt in dat ingrijpen ten behoeve van de veiligheid door het personeel van de regelzaal op zijn vroegst pas na 30 minuten nodig is (met uitzondering van zeer eenvoudige/eenduidige acties). Hierdoor is zeker gesteld dat het personeel geen overhaaste beslissingen hoeft te nemen, maar voldoende tijd heeft om de situatie te analyseren en daarna de benodigde acties vast te stellen en uit te voeren. Daar waar noodzakelijk is het onder bepaalde voorwaarden mogelijk voortijdig in te grijpen, om bijvoorbeeld de belasting van componenten tijdens het verloop van de storing te verminderen.

10 uur autarkietijd

In het geval van invloeden van buitenaf wordt de reactor automatisch afgeschakeld en voor een periode van 10 uur in een "warm onderkritische" toestand gebracht. Pas na afloop van deze periode is het noodzakelijk dat het personeel ingrijpt, zodat ruimschoots de tijd aanwezig is om de juiste maatregelen te treffen. Het is echter ook mogelijk om eerder in te grijpen.

De elektrische energievoorziening van de regelzaal en de reserve-regelzaal geschiedt over twee voedingsstrangen, zodat ook als één voedingsstrang uitvalt, het aansturen van de systemen niet in gevaar komt.

In het ontwerp is er in voorzien dat foutsignalen die eventueel ontstaan kunnen zijn door storingen ten gevolge van invloeden van buitenaf, de goede werking van de veiligheidssystemen in het reserveregelzaalgebouw niet nadelig kunnen beïnvloeden.

5.8.2 Organisatorische voorzieningen

Algemeen

Door middel van kwaliteitsborging wordt voor de taakuitoefening van het personeel eenduidigheid en procedurele helderheid gerealiseerd, zodat verantwoordelijkheden en bevoegdheden te allen tijde duidelijk zijn (zie hoofdstuk 9). Dit wordt ondersteund door coördinatie van taken.

De voorschriften om op veilige en economische wijze energie te produceren met de kernenergiecentrale zijn gedocumenteerd in taakbeschrijvingen, procedures, instructies en dergelijke. Volgens deze voorschriften wijzigen de taken en prioriteiten van het personeel afhankelijk van de veiligheidstechnische status van de installatie.

Om de veiligheid en de bedrijfszekerheid van de kernenergiecentrale te vergroten worden optredende storingen geëvalueerd en worden op basis daarvan eventueel maatregelen ter verbetering uitgevoerd. Hierdoor is een terugkoppeling gerealiseerd met betrekking tot het oplossen van storingen (zie paragraaf 9.8).

Gedurende het normale bedrijf en specifiek tijdens de splijtstofwisselperioden worden de verschillende werkzaamheden in de centrale (onder andere onderhoud) zodanig

georganiseerd en gecoördineerd dat zij elkaar en de veiligheid van de centrale niet negatief beïnvloeden. Dit wordt ondersteund door een duidelijke communicatie. De werkzaamheden worden centraal gecoördineerd en werkzaamheden aan voor de veiligheid van belang zijnde installaties worden gemeld aan het wachtpersoneel. Verder wordt door de planning van werkzaamheden, de specificatie van taken en een goede werkvoorbereiding de werkkuitvoering geoptimaliseerd. De bij de werkzaamheden eventueel aangebrachte wijzigingen aan de installatie worden vooraf getoetst aan de ontwerpspecificaties van de installatie; daarbij komen ook de bedieningsaspecten aan de orde.

De onderhoudsdocumentatie wordt centraal en bewaakt beheerd zodat een zekerstelling van "as-built" documentatie wordt gegarandeerd (zie paragraaf 9.9).

Wachtpersoneel

Tijdens normaal bedrijf is het de taak van het wachtpersoneel om planmatig elektriciteit te produceren met de Technische Specificaties als randvoorwaarden. Dat wil zeggen, een planmatige productie van elektriciteit onder gelijktijdige zekerstelling van alle uitgangspunten van de ongevalsanalyses. Een verdere taak is het technisch beheren van de installatie door tijdig onderhoudsbehoefte te onderkennen en toe te zien op uitvoering van werkzaamheden.

Bij storingen en ongevallen die een potentiële bedreiging opleveren voor de veiligheidsbarrières, en die een beroep doen op de functie van de actieve veiligheidssystemen, is het de taak van het wachtpersoneel om zeker te stellen dat de veiligheidssystemen functioneren en hun doel bereiken. Daarbij heeft het personeel tevens de taak om de consequenties van het ongeval, zo mogelijk, te minimaliseren.

Bij buiten-ontwerpongevallen heeft het wachtpersoneel de taak de situatie te onderkennen en alle beschikbare technische middelen optimaal aan te wenden om een eventuele dreiging van lozing van radioactieve stoffen ook in deze hoogst onwaarschijnlijke situaties af te wenden.

Opleiding en training

Voor het veilig bedienen van de kernenergiecentrale dient het personeel voldoende deskundigheid te bezitten. Om dit te bereiken is een opleidingsplan aanwezig (zie paragraaf 9.6). Een belangrijk onderdeel van de opleiding van het wachtpersoneel vormt de simulatortraining. Hierbij wordt het personeel in een nagebootste regelzaal met behulp van een computermodel geconfronteerd met mogelijke storingen en ongevallen. Aldus wordt getraind op het juist handelen in het geval dat een dergelijke situatie in werkelijkheid zou optreden. Daarbij wordt het toepassen van de in paragraaf 9.1 besproken procedures en instructies in ruime mate getraind.

5.9 BESTENDIGHEID TEGEN INVLOEDEN VAN BINNENUIT

De ongevalssituaties die door de centrale moeten worden beheerst zijn te onderscheiden in invloeden die van buitenaf op de kernenergiecentrale inwerken (zie paragraaf 5.10) en invloeden van binnenuit die een verstorend effect op de installatie kunnen hebben. In deze paragraaf wordt de bestendigheid van de installatie tegen invloeden van binnenuit beschreven.

Met betrekking tot de bestendigheid tegen invloeden van binnenuit is de volgende onderverdeling gemaakt:

- de te veronderstellen lekkages en faalwijzen (paragraaf 5.9.1);
- het principe van "Lek-voor-Breuk" (paragraaf 5.9.2);
- beveiliging tegen het falen van hoogenergetische pijpleidingen (paragraaf 5.9.3);
- omgevingscondities als gevolg van lekkages en breuken (paragraaf 5.9.4);
- ioniserende straling binnen de installatie (paragraaf 5.9.4);
- interne overstroming (paragraaf 5.9.5);
- weggeslingerde brokstukken (paragraaf 5.9.6);
- brand en explosies binnen de installatie (paragraaf 5.9.7).

5.9.1 Veronderstelde lekkages

5.9.1.1 Definities

Veronderstelde lekkage

Met een veronderstelde lekkage wordt een opening in een onder druk staande wand van een pijpleiding of component bedoeld, waarvan het bestaan wordt aangenomen om de gevolgen ervan voor constructies, systemen en componenten te kunnen analyseren.

Stabiele onderkritische lekkage

Een lekkage wordt stabiel onderkritisch genoemd als deze het gevolg is van een taaie scheur, waarvan het oppervlak slechts langzaam groter wordt.

Rondgaande scheur

Een rondgaande scheur is een scheur in een pijpleiding in de omtreksrichting van de leiding, die zich onstabiel uitbreidt, uiteindelijk uitgroeit tot een rondom doorlopende breuk en dan een openingsoppervlak bereikt van maximaal de dubbele doorsnede van de pijpleiding.

Hoogenergetische pijpleidingen

Hoogenergetische pijpleidingen zijn water- en stoomleidingen waarvan de bedrijfsdruk ≥ 20 bar of de bedrijfstemperatuur ≥ 100 °C is.

Laagenergetische pijpleidingen

Laagenergetische pijpleidingen zijn pijpleidingen die niet hoogenergetisch zijn.

2 %-systemen

Aan het 2 %-criterium wordt door leidingsystemen voldaan die slechts gedurende een periode $\leq 2\%$ van de bedrijfstijd van de totale installatie in hoogenergetische toestand worden bedreven.

5.9.1.2 Gevolgen van veronderstelde lekkages

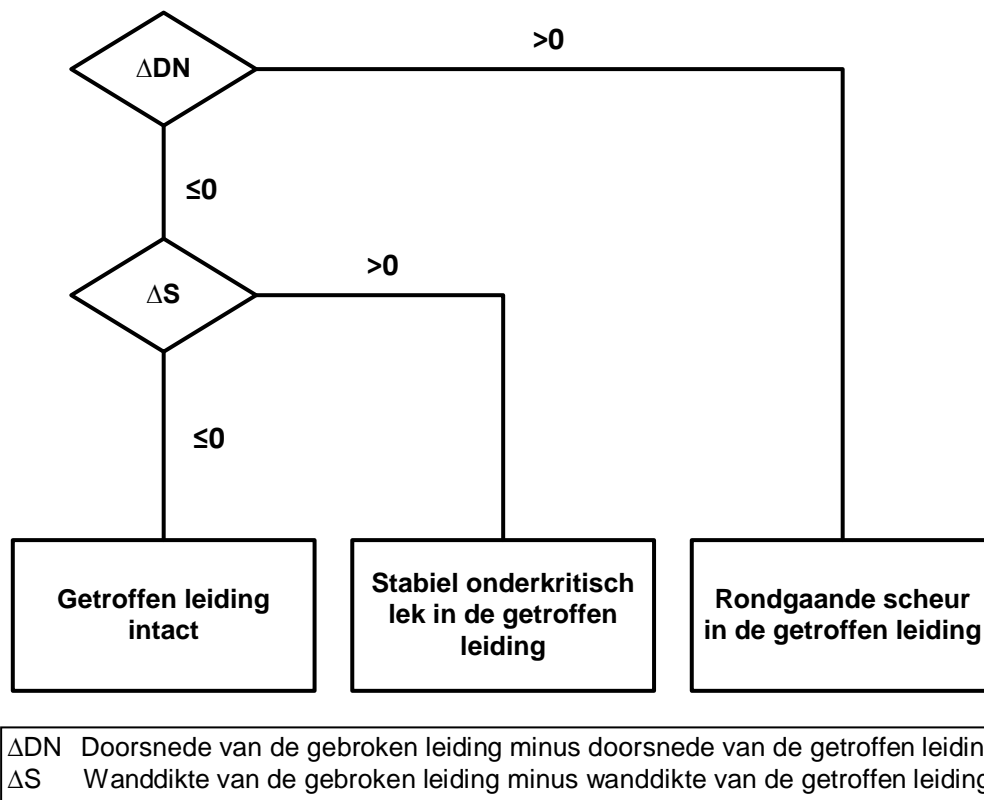
Bij lekkages en breuken in hoogenergetische pijpleidingen wordt er met de volgende effecten rekening gehouden:

- straalkrachten;
- reactiekrachten;
- belasting door drukverschillen;
- drukopbouw;
- vochtigheid;
- temperatuur;
- ioniserende straling;
- overstroming;
- verlies van medium met het oog op het kunnen blijven functioneren van het systeem.

Bovendien wordt er bij rondgaande scheuren rekening gehouden met de volgende effecten:

- het tegen elkaar slaan van pijpleidingen;
- drukgolven.

Met betrekking tot het uitslaan van gebroken pijpleidingen is rekening gehouden met gevolgschade aan naburige leidingen. In figuur 5.9.1/1 is de hierbij toegepaste aanname schematisch weergegeven. De gevolgschade wordt daarbij gerelateerd aan het verschil in dikte en diameter van de leidingen.



Figuur 5.9.1/1 Aannamen met betrekking tot gevolgschade aan naburige leidingen

In geval van lekkages en breuken in laagenergetische pijpleidingen worden de volgende effecten beschouwd:

- overstroming;
- verlies van medium met het oog op het kunnen blijven functioneren van het systeem.

5.9.1.3 Faalwijzen in hoogenergetische pijpleidingen > DN 50

Ten aanzien van hoogenergetische pijpleidingen > DN 50 (DN: uitwendige pijpdiameter in mm) worden de volgende faalwijzen verondersteld:

Rondgaande scheuren in zwaar belaste lasnaden

Met zwaar belaste lasnaden wordt bedoeld lasnaden aan componentaansluitingen (ook aansluitingen van appendages) en de lasnaden aan bochtstukken. Wanneer pijpleidingen aan bepaalde eisen voldoen kunnen rondgaande scheuren worden uitgesloten op basis van het principe van "Lek-voor-breuk" (zie paragraaf 5.9.2).

Stabiele onderkritische scheuren in zwaar belaste lasnaden

De scheur wordt geacht een scheur in de lengterichting of een rondgaande scheur te zijn.

5.9.1.4 Faalwijzen in hoogenergetische pijpleidingen \leq DN 50

Bij hoogenergetische pijpleidingen \leq DN 50 wordt uitgegaan van rondgaande scheuren in lasnaden.

5.9.1.5 Faalwijzen in 2 %-systemen

Ten aanzien van pijpleidingen die normaliter laagenergetisch en slechts kortstondig ($t \leq 2\%$) hoogenergetisch zijn, worden geen rondgaande scheuren verondersteld. Het in het hoogenergetische gebied bedrijven van deze systemen veronderstelt altijd een noodzaak daartoe. Lekkages in deze pijpleidingsystemen worden beschouwd als passieve, op zichzelf staande storingen.

5.9.1.6 Faalwijzen in laagenergetische systemen

Voor laagenergetische pijpleidingen > DN 50 worden onderkritische lekkages verondersteld. Voor laagenergetische pijpleidingen \leq DN 50 worden rondgaande scheuren aangenomen.

5.9.2 Principe van "Lek-voor-breuk"

Als ontwerpuitgangspunt van nieuwe kernenergiecentrales wordt gesteld dat, indien tijdens het ontwerp, de bouw en de bedrijfsvoering van componenten met een vijftal principes rekening wordt gehouden, het op grond van waarschijnlijkheidsberekening uitgesloten mag worden dat deze componenten grote breuken als gevolg van een rondgaande scheur zullen vertonen.

Verondersteld wordt dat alvorens de componenten zullen bezwijken eerst lekkage op zal treden (principe van lek-voor-breuk), zodat bij tijdige vaststelling van deze lekkage voorzorgsmaatregelen ter vermindering van een grote breuk getroffen kunnen worden.

De vijf genoemde principes zijn:

- vereiste componentkwaliteit door;
 - o hoogwaardige materiaaleigenschappen, in het bijzonder taaiheid;
 - o conservatieve aannames voor de toelaatbare spanningen;
 - o het vermijden van spanningspieken door een optimale constructie;
 - o waarborging van de toepassing van geoptimaliseerde fabricage- en beproevingstechnologieën;

- kennis en beoordeling van eventuele gebreken;
- het rekening houden met het bedrijfsmedium. Indien hieraan wordt voldaan dan bezit de betreffende component de zogenaamde basiszekerheid;
- uitvoering van veiligheidstechnisch relevante bewijzen, beproevingen en controles door minimaal twee van elkaar onafhankelijke partijen. Deze werkzaamheden dienen onder een regime van kwaliteitsborging uitgevoerd te worden;
- aannahme van de ongunstigste situatie. Dit houdt in dat bij alle bewijzen beproevingen en controles de conservatiefste randvoorwaarden aangenomen worden zoals de grootste belasting, de slechtst gespecificeerde kwaliteit van de materialen enzovoort;
- continue bewaking en registratie van alle veiligheidstechnisch relevante procesparameters zoals de werkelijk optredende belastingen, de toestand van en mogelijke gebreken aan materialen enzovoort;
- gebruik van rekencodes, basisgegevens, beproevingsconcepten en beproevingsmiddelen van erkende en gevalideerde geldigheid of toepasbaarheid.

De laatste vier van bovengenoemde principes zijn de zogenaamde meervoudige redundanties. Dat wil zeggen dat naast de basiszekerheid op meervoudig redundante wijze wordt aangetoond dat deze basiszekerheid gedurende de volledige bedrijfstijd gehandhaafd blijft. Indien aan de genoemde vijf principes wordt voldaan, dan wordt aangenomen dat grote breuken uitgesloten zijn en dat componenten eerst lekkage zullen vertonen.

Voor reeds bestaande kernenergiecentrales (zoals de kernenergiecentrale Borssele) is het principe van lek-voor-breuk van toepassing indien:

- de kwaliteit van de betreffende componenten met betrekking tot de basiszekerheid ten aanzien van de wezenlijke eisen vergelijkbaar is met de huidige stand der techniek respectievelijk dat afwijkende kenmerken veiligheidstechnisch als toelaatbaar beoordeeld zijn;
- het lek-voor-breuk gedrag aangetoond is;
- door redundante maatregelen tijdens de totale bedrijfstijd de uitsluiting van een grote breuk verzekerd is.

De hoog-energetische leidingen, waarvoor breuken op grond van het principe van "lek voor breuk" zijn uitgesloten, zijn:

- hoofdkoelmiddelleidingen (YA);
- volumevereffeningsleiding (YP);
- hoofdstoomleidingen (RA) binnen de secundaire afscherming;
- hoofdvoedingswaterleidingen (RL) binnen de secundaire afscherming;
- noodvoedingswaterleidingen (RL) en leidingen van het secundair reserve suppletiesysteem (RS) tussen de eerste terugslagklep, de stoomgenerator en de hoofdvoedingswaterleidingen.

Aanvankelijk is het lek-voor-breuk gedrag van deze leidingen onderzocht voor een bedrijfsduur van veertig jaar. Later is aangetoond dat ook voor een bedrijfsduur van zestig jaar breuken op grond van het principe "lek-voor-breuk" zijn uitgesloten.

Alhoewel breuken van deze hoog-energetische leidingen zijn uitgesloten, worden rondgaande scheuren resulterend in twee volledige breukoppervlakken, toch verondersteld met het oog op:

- noodkoeling van de kern;
- drukopbouw binnen de veiligheidsomhulling;
- ongevalsbestendigheid van elektrische en meet/regelapparatuur.

Voor hoog-energetische leidingen waarvoor het principe van "lek voor breuk" niet kan worden aangetoond is een benadering gevolgd op basis van het volgende concept:

- een potentiële breuk is verondersteld bij iedere discontinuïteit van het materiaal en/of de geometrie in het leidingsysteem;
- iedere interactie tussen een breuk en een veiligheidsrelevante component is geanalyseerd en het risico van de interactie is berekend;
- indien het risico een bepaalde waarde overschrijdt, zijn beschermende maatregelen getroffen.

5.9.3 Beveiliging tegen het falen van hoogenergetische leidingen

Uit de veronderstelde lekkages en breuken (paragraaf 5.9.1) volgen de aan te nemen effecten. De globale effecten zoals druk, temperatuur en vochtigheid alsmede overstroming worden in de paragrafen 5.9.4 en 5.9.5 besproken. Deze paragraaf beschouwt de volgende lokale effecten:

- straalkrachten;
- reactiekrachten;
- rondslaande leidingen.

Straalkrachten zijn bij rondgaande scheuren en onderkritische lekkages beschouwd voor leidingen waarvoor het principe van "lek voor breuk" (zie paragraaf 5.9.2) niet geldt, ten aanzien van eventuele gevolgen voor naburige systemen of componenten en bouwkundige structuren.

Reactiekrachten werken op de bevestigingen van de betreffende pijpleiding. De mogelijke krachten zijn gebruikt bij het berekenen van de verankerings- en beveiligingsconstructies, dan wel bij de beoordeling van mogelijke gevolgen van het falen van bevestigingen.

Rondslaande leidingen zijn bij de rondgaande scheuren beschouwd ten aanzien van de mogelijke gevolgen op naburige installaties en bouwtechnische structuren. Met betrekking tot het uitslaan van gebroken pijpleidingen is rekening gehouden met gevolgschade van naburige leidingen volgens figuur 5.9.1/1, waarin de schade die een leiding aan naburige leidingen kan aanbrengen gerelateerd wordt aan de diameters en wanddiktes van de verschillende leidingen.

Drukgolven en verhoogde stromingskrachten zijn relevant bij snelle breukopeningen en grote breukdoorsneden en zijn daarom alleen voor rondgaande scheuren onderzocht. Het gaat hier met name om waterslag. In de analyses zijn de krachten op de verbindingen tussen de leiding en de op de leiding aangesloten componenten onderzocht. Daarnaast veroorzaken drukgolven ook externe krachten op de pijpleiding-hangers, waarbij rekening gehouden moet worden met reactiekrachten.

Aangetoond is dat de installatie veilig uit bedrijf genomen kan worden na het falen van hoogenergetische leidingen waarvoor het principe van "lek voor breuk" niet geldt.

5.9.4 Ontwerp van de mechanische en elektrotechnische componenten ten aanzien van de omgevingscondities

Met bestendigheid tegen ongevallen worden de ontwerpeisen bedoeld, die voortvloeien uit belastingen door druk, temperatuur en vochtigheid als gevolg van ongevallen met lekkage. Deze eisen zijn met name relevant voor elektrotechnische en meet- en regeltechnische installatiedelen die van belang zijn voor de veiligheid.

De installatiedelen binnen de veiligheidsomhulling die noodzakelijk zijn voor de waarneming of beheersing van een ongeval met verlies van koelmiddel, zijn berekend op respectievelijk goedgekeurd voor de omstandigheden tijdens een koelmiddelverliesongeval.

De ontwerpcondities voor de bestendigheid tegen koelmiddelverliesongevallen volgen uit de ontwerpberekeningen. Behalve met de omgevingscondities (druk, temperatuur, vochtigheid), is bij het aantonen van de bestendigheid tegen koelmiddelverliesongevallen ook rekening gehouden met de stralingsbelasting, het naar beneden stromende water en de verouderende invloeden in de voorgaande periode (de thermische en stralingsbelasting tijdens bedrijf).

Belastingen die door andere lekkages in de veiligheidsomhulling ontstaan (lekkage van de secundaire leidingen) worden door het ontwerp tegen koelmiddelverliesongevallen afgedekt.

Eventuele gevolgen van inwerkingen van druk, temperatuur en vochtigheid door lekkages in de ringruimte worden in de eerste uren na het begin van het ongeval beheerst met behulp van systemen die zijn opgesteld in het reactorgebouw, het afblaasstation, het reservesuppletiegebouw en het reserveregelzaalgebouw. De componenten van deze systemen die zich in de ringruimte bevinden evenals de componenten in de ringruimte die daarbij nodig zijn voor de registratie van meetwaarden zijn zo ontworpen, dat ze bestand zijn tegen de te verwachten omgevingscondities. Daarbij wordt ook rekening gehouden met het binnendringen van stoom uit het reactorhulpgebouw in de aangrenzende ringruimte van het reactorgebouw. In het afblaasstation is tussen de beide hoofdstroomstrangen een scheidingswand aangebracht, waardoor inwerking van druk, temperatuur en vochtigheid op elkaar wordt voorkomen (zie paragraaf 6.3.9 en figuur 6.3.9/1).

Voor de langdurige beheersing van het ongeval in de ringruimte zijn reserve systemen voor de afvoer van vervalwarmte uit de reactor en het splijtstofopslagbassin nodig. Deze systemen zijn tegen de betreffende omgevingscondities bestand. In het reservesuppletiegebouw en het reserveregelzaalgebouw zijn geen systemen aanwezig, waarvan het falen tot grote belastingen door druk, temperatuur en vochtigheid kan leiden.

5.9.5 Beveiliging tegen overstromingen binnen de installatie

Tegen overstromingen binnen de installatie als gevolg van het bezwijken van watervoerende componenten zijn voorzorgsmaatregelen getroffen, zoals plaatsing op verschillende hoogtes, compartimentering en maatregelen die een afsluiting dienen te realiseren.

Met het oog op lekkages zijn in alle gebouwen voldoende ruim bemeten systemen aanwezig om het water uit de gebouwen af te voeren. Het water uit de ontwateringssystemen van de gebouwen in het gecontroleerd gebied komt terecht in het systeem waar het radioactieve afvalwater wordt behandeld.

Ruimten waarin zich reservoirs voor radioactieve vloeistoffen bevinden, zijn als regel uitgevoerd als kuipen die de inhoud van de reservoirs kunnen bevatten. Hierdoor wordt voorkomen dat lekwater in andere ruimten terecht komt.

Lekkages van de installatie in de veiligheidsomhulling (01), leiden tot een overstromingsniveau dat beneden het niveau ligt van de meeste veiligheidsrelevante actieve componenten met hun inrichtingen voor energie- en mediumtoevoer en de daarbij behorende instrumentatie en regelsystemen. Voor de veiligheidsrelevante actieve componenten die beneden het overstromingsniveau liggen zijn maatregelen getroffen (zoals het gebruik van een ingekapselde waterdichte uitvoering voor meetwaarde-omvormers), waarmee de functionaliteit is gewaarborgd. Om overstromingen, die het gevolg kunnen zijn van ongevallen waarbij een verlies van koelmiddel optreedt of van lekkage van het secundaire leidingsysteem in de veiligheidsomhulling, te kunnen beheersen staan dus de benodigde veiligheidssystemen van de installatie ondanks de overstroming ter beschikking. Dit betreft met name het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF), het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) en het nucleair ventilatiesysteem (TL). Overstromingen binnen de installatie in het reactorgebouw hebben geen

ernstige gevolgen voor de veiligheidssystemen in de ringruimte (02), omdat deze voldoende hoog staan opgesteld.

In geval van een extreme overstroming in de ringruimte van het reactorgebouw (02), waarbij de in deze ruimte opgestelde systemen niet beschikbaar zijn, staat voor de afvoer van de restwarmte de reserve koelketen, (TE/TG080/VE) ter beschikking.

Het reservesuppletiegebouw (33) is verdeeld in aparte ruimten en daarmee zijn de hierin gehuisveste systemen secundair reservesuppletiesysteem (RS), primair reservesuppletiesysteem (TW) en noodstroomnet 2 redundant opgebouwd. Overstromingen blijven dientengevolge beperkt tot één redundantie en hebben daarom geen invloed op het bedrijf van de installatie.

De inrichtingen van de reactorbeveiliging en de reserve-regelzaal zijn ondergebracht op de bovenste verdieping van het reserveregelzaalgebouw (35); zij kunnen niet onder water komen te staan, omdat in het reserveregelzaalgebouw geen systemen staan opgesteld die een interne overstroming kunnen veroorzaken.

Op de onderste etage van het afblaasstation op het dak van het reactorhulpgebouw zijn geen inrichtingen van het hoofdstoomsysteem (RA) die van belang zijn voor de veiligheid ondergebracht. Voordat de bovenste etage, waar zulke inrichtingen aanwezig zijn, kan worden overstroomd worden op de onderste etage door de toenemende druk buitendeuren geopend die voor de afwatering zorg dragen.

5.9.6 Beveiliging tegen weggeslingerde brokstukken

Het ontstaan van brokstukken als gevolg van het falen van installatiedelen binnen de kernenergiecentrale, wordt door preventieve maatregelen (bijvoorbeeld kwaliteitsborgingsmaatregelen) zo onwaarschijnlijk gemaakt dat met uitzondering van enkele gepostuleerde gevallen, een beschouwing van de gevolgen van brokstukken niet noodzakelijk is. Daarenboven bieden de betonstructuren, aanvullende bescherming van de veiligheidsrelevante installatiedelen tegen de gevolgen van brokstukken.

Installatiedelen binnen het reactorgebouw

Pijpleidingen

Brokstukken kunnen bij pijpleidingen ontstaan als gevolg van pijpbreuk in hoogenergetische leidingen. Door een grote mate van kwaliteitsbewaking tijdens de fabricage, de montage en bij het uitvoeren van druktesten en functionele testen, alsook door periodieke beproeving en onderhoud, wordt gewaarborgd dat het optreden van gebeurtenissen waarbij brokstukken worden gevormd (leidingbreuk) zeer onwaarschijnlijk is. Bovendien worden analyses uitgevoerd met betrekking tot mogelijke plaatselijke gevolgen van leidingbreuk op veiligheidstechnisch relevante installatiedelen in de nabijheid van leidingen met verhoogde gevaarkans. Daarmee is aangetoond dat geen ontoelaatbare gevolgschade (uitval) kan ontstaan.

Afsluiters

Er wordt om de navolgende redenen verondersteld dat afsluiters in hoogenergetische systemen niet spontaan zullen falen, zodat ook geen brokstukken ontstaan.

Een spindel van een afsluiter wordt verondersteld geen brokstuk te kunnen worden, omdat de spindel in de afsluiterbehuizing aan het einde een afdichtorgaan (afdichtkegel of -klep) bezit dat een grotere diameter heeft dan de spindeldoорvoering in het deksel van de behuizing en buiten het bereik van het medium wordt gehouden vanwege de aandrijfconstructie. Het uit de afsluiterbehuizing vliegen van een compleet binnenwerk is eveneens niet mogelijk, omdat het

binnenwerk door meerdere gekwalificeerde bouten in de afsluiterbehuizing bevestigd is en meerdere bouten gelijktijdig zouden moeten falen.

Pompen

De pompen in het reactorgebouw zijn zo uitgevoerd dat spontaan falen, waarbij brokstukken uit de drukvoerende behuizing van deze pompen ontstaan, erg onwaarschijnlijk is. Verder tonen ervaringen van pompfabrikanten aan dat het door een waaier veroorzaakt brokstuk niet door het pomphuis dringt, maar met zekerheid binnen het pomphuis wordt gehouden.

Tanks

De tanks met grote energie-inhoud (dat wil zeggen tanks welke gedurende meer dan 2 % van de bedrijfstijd van de installatie aan de volgende criteria voldoen: bedrijfsdruk ≥ 20 bar en/of bedrijfstemperatuur ≥ 100 °C) die in het reactorgebouw zijn opgesteld, zijn zodanig uitgevoerd dat aan deze tanks geen instabiele scheuren verondersteld hoeven te worden, zodat uitgesloten kan worden dat de tankwanden falen. Ook het volledig falen van flens- en dekselverbindingen kan op basis van het grote aantal toegepaste bouten uitgesloten worden. Daardoor worden de mogelijke gevolgen van het falen van de flens- en dekselverbindingen afgedekt door het veronderstelde falen van de aangesloten pijpleidingen.

Regelstaafstompen

Onafhankelijk van de kwaliteit van de onderdelen wordt aangenomen dat het ontwerp ook bestand moet zijn tegen de gevolgen van plotselinge breuk van een stomp van een regelstaaf. De aangenomen breuk wordt verondersteld op te treden in de regelstaafomhullingspijp met de grootste diameter, waarmee tevens breukaannames in de standaardwijzingspijp en de aandrijfstrompen met kleinere diameter afgedekt zijn. Bij de veronderstelde totaalbreuk (= afbreken) ter plekke van het reactorvat, werken zuiger- en straalkrachten op relatief lange versnellingswegen zodat aandrijving en aandrijfstangen als projectiel loodrecht naar boven tegen de afdekbalk vliegen, zich daar vervormen en op de kabelbrug terug vallen. Zij beschadigen hiermee niet de overige aandrijvingen en aandrijfstangen.

Hoofdkoelmiddelpompen – vliegwiel

De hoofdkoelmiddelpompen zijn voorzien van een vliegwiel dat dient om na het uitvallen van de elektromotorische aandrijving nog enige tijd een bepaald hoofdkoelmiddeldebiet te waarborgen om voldoende doorstroming in de reactorkern te handhaven.

Het weigeren van het pompvliegwiel bij normaal bedrijf, dus bij normale toerentallen, wordt op grond van de genomen kwaliteitsborgingsmaatregelen uitgesloten.

Bij storingen met hoofdkoelmiddelverlies, onder bepaalde omstandigheden van het aangenomen lek, kunnen de hoofdkoelmiddelpompen, vanwege de zich naar het lek instellende stroming, versneld worden. De analyse van het pomptoerental bij het afbreken van de grootste aansluitende leiding heeft evenwel uitgewezen dat een versnelling van het pompvliegwiel tot te hoog toerental, uitgesloten is (zie paragraaf 7.4.4). Vorming van brokstukken uit het vliegwiel zelf, door het weigeren van het pompvliegwiel als gevolg van een storing met hoofdkoelmiddelverlies, behoeft daarom niet verondersteld te worden.

Installatiedelen in andere gebouwen

Behalve in het reactorgebouw (01/02) zijn ook nog veiligheidsrelevante systemen ondergebracht in de volgende gebouwen:

- reservesuppletiegebouw (33);
- reserveregelzaalgebouw (35);
- noodstroomdieselgebouwen (10, 72);
- reactorhulpgebouw (03);

- machinegebouw (04);
- schakelgebouw (05);
- koelwaterinlaatgebouw (21).

In het reservesuppletiegebouw en de noodstroomdieselgebouwen wordt de beveiliging tegen veronderstelde brokstukken uit interne gebeurtenissen bereikt, doordat de veiligheidsrelevante systemen ruimtelijk gescheiden zijn in de gebouwen door betonwanden tussen de afzonderlijke redundanties.

Het reserveregelzaalgebouw bestaat uit betonnen wanden. Door de afwezigheid van hoog-energetische systemen in dit gebouw worden de daarin geplaatste (veelal elektrotechnische) systemen en componenten niet blootgesteld aan rondvliegende brokstukken. Hierdoor zijn de gehuisveste systemen en componenten beschermd tegen veronderstelde brokstukken uit interne gebeurtenissen.

In het reactorhulpgebouw bestaat een ruimtelijke scheiding tussen de veiligheidsrelevante installatiedelen van hoogenergetische bedrijfssystemen, waardoor falen van één van deze installatiedelen niet het falen van een andere tot gevolg zal hebben. Bovendien zijn hierdoor als gevolg van het falen van deze installatiedelen geen relevante gevolgen voor de standzekerheid van het gehele reactorhulpgebouw en voor het reactorgebouw te veronderstellen.

De functie van de veiligheidsrelevante installaties in het machinegebouw kunnen door veiligheidssystemen in andere gebouwen vervangen worden in geval ze als gevolg van de invloed van brokstukken zouden uitvallen.

Van vaten in het machinegebouw waarvan falen ernstige gevolgen kan hebben (voedingswatertank, oververhitters) is het falen uit te sluiten, omdat door periodieke inspectie en onderhoudsmaatregelen beginnende fouten in de belangrijke lasnaden van de vaten tijdig onderkend worden.

In het schakelgebouw en in het koelwaterinlaatgebouw zijn geen relevante hoogenergetische systemen aanwezig, waarbij brokstukken kunnen worden gevormd.

Turbinebrokstukken

De volgende maatregelen zijn getroffen om storingen aan de turbogenerator of het ontstaan van brokstukken te voorkomen:

- toepassing van een betrouwbare en beproefde constructie;
- uitgebreide maatregelen om de kwaliteit te waarborgen;
- slingertest van alle turbinerotoren tot 125% van het nominale bedrijfstoerental;
- toepassing van een betrouwbaar turbineregelsysteem dat regelmatig wordt getest;
- voorzieningen om een hoge mate van afschakelbetrouwbaarheid te garanderen;
- regelmatige inspectie en controle van de turbogenerator inclusief de beschermings- en afsluitvoorzieningen;
- periodiek ultrasoon onderzoek;
- bewaking ten aanzien van trillingen.

Daarnaast zijn het reactorgebouw (01/02), het reservesuppletiegebouw (33) en het reserveregelzaalgebouw (35) zo gesitueerd, dat mogelijk weggeslingerde turbogeneratorfragmenten deze gebouwen niet kunnen treffen.

Voor het geval dat het regelsysteem van de turbine faalt of de regelkleppen niet goed sluiten, is een snelsluit-overtoerenbeveiliging toegepast ter voorkoming van ontoelaatbaar hoge toerentallen. De

limietwaarde voor het aanspreken van het snelsluitsysteem is zó ingesteld, dat het maximaal toelaatbare toerental van de turbinerotoren nooit bereikt wordt.

De overtoerenbeveiliging werkt "fail safe", wat wil zeggen dat de snelsluitkleppen van de turbine sluiten, zodra de druk van de regelvloeistofdruk wegvalt. De overtoerenbeveiliging kan tijdens normaal bedrijf worden beproefd. Ook de snelsluit- en regelkleppen worden regelmatig tijdens bedrijf beproefd. Naast de twee mechanische overtoerenbeveiligingen is er een onafhankelijke, elektrische overtoerenbeveiliging geïnstalleerd.

5.9.7 Beveiliging tegen brand en explosies binnen de installatie

5.9.7.1 Beveiliging tegen brand

Uitgangspunt voor brandveiligheid is de nucleaire veiligheid. Het gaat hierbij om het zekerstellen van de volgende primaire veiligheidsfuncties:

- reactorafschakeling;
- afvoer vervalwarmte;
- voorkomen van lozing van radioactieve stoffen.

De beveiliging tegen brand bestaat uit drie onderdelen:

- voorkomen dat brand ontstaat (bedrijfsprocedures, toepassing van moeilijk ontvlambare materialen, geringe brandbelasting);
- voorkomen dat brand zich uitbreidt (brandcompartimenten, brandmelders);
- beperken van de gevolgen van een brand (brandbestrijding).

De maatregelen ter beveiliging van de essentiële veiligheidsfuncties tegen brand binnen de installatie, zijn gerealiseerd met behulp van systemen die zijn ondergebracht in het reactorgebouw (de veiligheidsomhulling 01 en de ringruimte 02), het reservesuppletiegebouw (33), het reserveregelzaalgebouw (35) en het afblaasstation. De getroffen brandveiligheidsmaatregelen zijn gericht op het beperken van de brand in deze gebouwen.

Bovendien zijn in het reactorhulpgebouw (03) lokale maatregelen getroffen tegen het overslaan van brand vanuit aangrenzende gebouwen (machinegebouw 04, noodstroomdieselgebouw 10, schakelgebouw 05). Verdere maatregelen betreffen de beveiliging van de aan de zwaarste brandbelasting blootstaande plaatsen in het conventionele gedeelte van de installatie, bijvoorbeeld de plaats in het machinegebouw waar zich de olie voor de turbine bevindt.

Ook zijn de noodvoedingswaterpompen ten aanzien van brand van elkaar gescheiden.

In tabel 5.9.7/1 zijn de systemen of systeemdelen weergegeven die een bijdrage leveren aan het vervullen van de veiligheidsfuncties na het optreden van een brand.

Administratieve en organisatorische maatregelen, zoals continu aanwezig wachtpersoneel met een opleiding voor brandbestrijding en procedures voor een snelle brandbestrijding en het inzetten van de bedrijfsbrandweer, vormen een aanvulling op de technische maatregelen.

Het bepalen van de per geval te treffen maatregelen heeft plaats gevonden op basis van een evaluatie van de feitelijk aanwezige brandbare goederen en de mogelijke gevolgen van een brand. Het geheel van de bestaande brandveiligheidsmaatregelen waarborgt dat de nucleaire veiligheid verzekerd is.

Bouwkundige brandveiligheidsmaatregelen

De wanden en vloeren in de gebouwen zijn doorgaans van gewapend beton; in enkele gevallen bestaan de wanden uit metselwerk in de dragende constructie van gewapend beton. De bestaande wand- en vloerdiktes voldoen ten minste aan de eisen van brandbestendigheidsklasse F60, dat wil zeggen dat zij gedurende minimaal 60 minuten de voortplanting van een eventuele brand verhinderen.

Pijpdoorvoeringen

Pijpdoorvoeringen worden door beschermingsbuizen in de wand geleid en door middel van manchetten rook- en luchtdicht afgesloten. De spleet tussen de buis in de muur en de mediumvoerende leiding is, al naargelang de situatie vereist, gevuld met loodwol (bijvoorbeeld in omstandigheden waarbij ioniserende straling optreedt) en/of met een onbrandbaar materiaal. In enkele gevallen is de doorvoering luchtdicht gelast (afsluiting van het gecontroleerd gebied).

Deuren en luiken

De deuren en luiken in de ten behoeve van de brandveiligheid van elkaar gescheiden ruimten met hoge brandbelasting zijn in minimaal F60 uitgevoerd.

Kabelroutes

In geval van een brand moet het vermogen tot functioneren van verschillende veiligheidstechnisch belangrijke en ten opzichte van elkaar redundante kabelstrangen gewaarborgd zijn.

Ter bescherming van de kabelroutes alsook om de mogelijkheid te beperken, dat een brand zich via de kabelroutes uitbreidt, zijn de kabels ten dele van een speciale coating voorzien, terwijl ook gedeeltelijk brandwerende bekledingen of trogconstructies aanwezig zijn. Kabeldoorvoeringen zijn uitgevoerd met kabelschotten, zodat de vereiste brandwerendheid van vloer of wand in stand blijft.

Maatregelen voor branddetectie, -melding en -bestrijding

Alle gebouwen worden door een brandmeldinstallatie bewaakt (zie paragraaf 6.8.1.). Bij detectie van brand wordt de plaats van detectie aangegeven.

Ten behoeve van de brandbestrijding zijn in de gebouwen met verhoogd brandgevaar of een belangrijke veiligheidsfunctie automatisch of hand bediende brandblussystemen aanwezig (zie paragraaf 6.8). Verder staan er door de gehele centrale handblusmiddelen opgesteld.

5.9.7.2 Beveiliging tegen explosies

Ter beveiliging van veiligheidstechnisch belangrijke installatiedelen tegen de gevolgen van explosies zijn maatregelen getroffen om eventuele explosies te voorkomen en in omvang te beperken. Deze maatregelen zijn:

- het zoveel mogelijk toepassen van niet of slecht brandbare stoffen in plaats van brandbare gassen en/of vloeistoffen;
- het reduceren van de hoeveelheden aanwezige stoffen die eventueel explosies tot gevolg zouden kunnen hebben;
- het begrenzen van de bij storingen vrijkomende stoffen die eventueel explosies tot gevolg zouden kunnen hebben;
- het stellen van strenge veiligheidstechnische eisen aan de insluiting van stoffen die eventueel explosies tot gevolg zouden kunnen hebben;
- het bewaken van de atmosfeer van ruimten gecombineerd met automatische beveiligingsmaatregelen;
- het ventileren van ruimten;
- het inertiseren van installatiedelen.

Tabel 5.9.7/1 Systemen of systeemdelen die een bijdrage leveren aan het vervullen van de veiligheidsfuncties na het optreden van een brand

TA	Volumeregelsysteem
TB	Nucleair chemicaliën-doseersysteem
TF	Nucleair tussenkoelwatersysteem
TG	Splijststofopslagbassinkoeling
TJ	Kerninundatie- en nakoelsysteem
TL	Nucleair ventilatiesysteem
TW	Primair reservesuppletiesysteem
TE/VE	Reserve nakoelsysteem/noodkoelwatersysteem
RA	Hoofdstoomsysteem
RL	Hoofdvoedingswater en noodvoedingswatersysteem (alleen noodvoedingsgedeelte)
RS	Secundair reservesuppletiesysteem
UV/UW	Ventilatiesysteem (reserve)regelzaal
VF	Nood- en nevenkoelwatersysteem
VG	Conventioneel tussenkoelwatersysteem
XA	Veiligheidsomhulling (inclusief XA, XB, XC, XD, XE, XF en XG)
YA, YB, YC en YD	Reactorkoelsysteem
YP	Drukhoudsysteem
YS	Regelstaven plus aandrijving
YZ	Reactorbeveiligingssysteem
-	Noodstroomnet 1
-	Noodstroomnet 2
-	Veiligheidsrelevante meet- en regelsystemen voor bovengenoemde systemen
-	Veiligheidsrelevante delen van het procespresentatiesysteem en de bijbehorende instrumentatie

5.10 BESTENDIGHEID TEGEN INVLOEDEN VAN BUITENAF

Met betrekking tot de bestendigheid tegen invloeden van buitenaf is de volgende onderverdeling gemaakt:

- aardbevingen (paragraaf 5.10.1);
- vliegtuigongelukken (paragraaf 5.10.2);
- explosiedruk golf (paragraaf 5.10.3);
- windbelasting (paragraaf 5.10.4);
- overstroming (paragraaf 5.10.5);
- andere invloeden van buitenaf (paragraaf 5.10.6).

5.10.1 Aardbevingen

Volgens de regelgeving op nucleair gebied, moet er voor het ontwerpen tegen aardbevingen een zogenoemde ontwerpaardbeving worden gedefinieerd.

De ontwerpaardbeving is de maximaal te verwachten aardbeving, op basis van de in de wijde omgeving van de locatie opgetreden aardbevingen, rekening houdend met de geologische situatie ter plaatse gedefinieerd.

Uit de ontwerpaardbeving en de gesteldheid van de ondergrond ter plaatse is een bodemresponsiespectrum afgeleid. Met behulp daarvan zijn de belastingen op gebouwen en constructies bepaald.

De intensiteit van de ontwerpaardbeving voor de vestigingsplaats van de kernenergiecentrale, is vastgesteld op 6,5 (MSK) (zie paragraaf 4.2).

Aardbevingen worden beheerst door het aardbevingsbestendig ontwerpen (zie paragraaf 5.5.2) van systemen en componenten die zijn opgesteld in het reactorgebouw (01/02), in het reservesuppletiegebouw (33) en in het reserveregelzaalgebouw (35). Deze gebouwen zijn zodanig ontworpen, dat zij tegen de ontwerpaardbeving bestand zijn. Van het reactorhulpgebouw (03), de ventilatieschacht (13), het machinegebouw (04) en het schakelgebouw (05) is de standzekerheid gewaarborgd. Het concept voor de beheersing van aardbevingen gaat er van uit dat de koeling naar de Westerschelde uitvalt, aangezien de normale nakoelketen, bestaande uit het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) en het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) alsmede de normale koeling met het splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG) niet op een aardbeving zijn berekend. Teneinde ook in deze situatie voldoende koeling te hebben is de reservekoelketen bestand tegen aardbeving. De reservekoelketen bestaat uit het reserve nakoelsysteem (TE), het reserve noodkoelwatersysteem (VE) en het aardbevingsbestendig deel van het splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG) met koeling via het reserve bassinkoelsysteem (TG080).

5.10.2 Vliegtuigval

Alhoewel de kans dat een vliegtuig neerstort op de centrale zeer klein is, is rekening gehouden met het neerstorten van een klein vliegtuig (zie paragraaf 4.6). Het reactorgebouw is bestand tegen het neerstorten van een dergelijk vliegtuig. De aanwezige structurele weerstand van het reactorgebouw is toegepast voor de gebouwen die van het grootste belang zijn voor de veiligheid (reactorgebouw, reservesuppletiegebouw en reserveregelzaalgebouw). Door het ontwerp van de gebouwen wordt tevens voorkomen dat grote hoeveelheden motorbrandstof in de genoemde gebouwen kunnen binnen dringen.

5.10.3 Explosiedruk golf

De gebouwen die van het grootste belang zijn voor de veiligheid (reactorgebouw, reservesuppletiegebouw en reserveregelzaalgebouw), zijn zo ontworpen, dat zij een explosiedruk golf met een statische overdruk van 0,1 bar en een piekoverdruk van 0,15 bar kunnen weerstaan.

5.10.4 Windbelastingen

De gebouwen die van het grootste belang zijn voor de veiligheid (reactorgebouw, reservesuppletiegebouw en reserveregelzaalgebouw), zijn door hun ontwerp tegen explosiedruk golven en vliegtuigongelukken ook bestand tegen normale uit bouwnormen voortvloeiende windbelastingen en ten gevolge van mogelijk optredende windhozen. Deze gebouwen zijn bestand tegen een tornado met een maximale windsnelheid van 125 m/s. De overige gebouwen voldoen aan de normen voor normale windbelastingen.

5.10.5 Overstroming

De hoogste waterstand waarmee rekening dient te worden gehouden, bedraagt 7,3 m + NAP (zie paragraaf 4.3). Bij het ontwerp van de gebouwen en de opstelling van veiligheidsrelevante componenten is hiermee rekening gehouden. Dit geldt voor het reactorgebouw, het reservesuppletiegebouw en het reserveregelzaalgebouw.

5.10.6 Andere invloeden van buitenaf

Naast de in de paragrafen 5.10.1 tot en met 5.10.5 genoemde invloeden van buitenaf zijn ook de volgende gebeurtenissen in beschouwing genomen:

- blikseminslag (zie paragraaf 6.5);
- uitval van de koeling naar de Westerschelde;
- schadelijke chemische stoffen;
- externe brand;
- extreme weersomstandigheden;
- het stranden van een schip.

Uitval van de koeling naar de Westerschelde

Als de koeling naar de Westerschelde uitvalt, staat het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) niet meer ter beschikking. De afvoer van de restwarmte vindt in dit geval plaats via het reservesuppletiesysteem (RS) en de stoomgeneratoren via verdamping. Indien een dergelijke situatie langdurig zou optreden kan de vervalwarmte via de reservekoelketen (TE/TG080/VE) worden afgevoerd (zie paragraaf 6.3 en paragraaf 6.9). Tevens zijn voorzieningen aanwezig om de vervalwarmte af te voeren met inzet van mobiele apparatuur.

Schadelijke chemische stoffen

Voor het detecteren van toxische en brandbare gassen zijn in het luchttoevoersysteem van de regelzaal detectoren aangebracht. Bij detectie van deze gassen wordt het ventilatiesysteem van de regelzaal automatisch afgesloten en vindt interne recirculatie plaats (zie paragraaf 6.3.10). Zelfs in het geval de regelzaal niet meer ter beschikking staat is toch een autonoom bedrijf van 10 uur gewaarborgd. Andere schadelijke chemische stoffen, zoals corrosieve gassen, veroorzaken op korte termijn geen schade, zodat na blootstelling aan corrosieve gassen de centrale te allen tijde kan worden afgeschakeld.

Externe brand

Ten aanzien van het beheersen van de gevolgen van externe branden zijn geen extra maatregelen nodig. De maatregelen ten aanzien van de overige invloeden van buitenaf zijn afdekkend voor externe branden.

Extreme weersomstandigheden

Het ontwerp tegen de gevolgen van aardbevingen, vliegtuigongelukken en explosiedrukgolven is afdekkend voor de bestendigheid tegen extreme weersomstandigheden.

Het stranden van een schip

De gevolgen van het stranden van een schip met een gevaarlijke lading worden in voldoende mate door de maatregelen tegen explosiedrukgolven en schadelijke chemische stoffen tegengegaan.

In het geval van een mogelijk uitvallen van de koeling naar de Westerschelde als gevolg van een scheepsstranding vindt de afvoer van de restwarmte plaats via het reservesuppletiesysteem (RS) en de stoomgeneratoren via verdamping. Indien een dergelijke situatie langdurig zou optreden kan de vervalwarmte via de reservekoelketen (TE/TG080/VE) worden afgevoerd. Tevens zijn voorzieningen aanwezig om de vervalwarmte af te voeren met inzet van mobiele apparatuur.

5.10.7 **Aantonen van de bestendigheid tegen invloeden van buitenaf**

In deze paragraaf wordt het aantonen van de bestendigheid tegen invloeden van buitenaf specifiek voor aardbeving, vliegtuigongeluk, overstroming en explosiedruk golf nader toegelicht. De bestendigheid van de overige invloeden van buitenaf is in de paragrafen 5.10.4 tot en met 5.10.6 reeds behandeld en is voor een deel op de onderstaande onderbouwing gebaseerd.

5.10.7.1 **Bouwkundige constructies**

Alle bouwkundige constructies zijn zodanig ontworpen, dat zij bestand zijn tegen alle als reëel te beschouwen invloeden van buitenaf, of deze nu van natuurlijke of van menselijke aard zijn. Daarbij kan men denken aan bliksem, hoog- en laagwater, ijs en sneeuw, storm en brand in de omgeving. Bovendien zijn het reactorgebouw (01/02), het reservesuppletiegebouw (33) en het reserveregelzaalgebouw (35) ingedeeld in aardbevingsklasse I. Deze gebouwen zijn bestand tegen belastingen ten gevolge van een aardbeving, een vliegtuigongeluk en een explosiedruk golf, zodat het afschakelen van de reactor, de afvoer van de restwarmte en de afsluiting van de ventilatie van de veiligheidsomhulling na een extreme invloed van buitenaf worden gewaarborgd.

Ook de belasting door vallend puin afkomstig van andere gebouwen levert voor deze gebouwen geen gevaar op, omdat de dragende constructies van het reactorhulpgebouw (03), inclusief de ventilatieschacht (13), het machinegebouw (04) en het schakelgebouw (05) (allen gebouwen van aardbevingsklasse IIA), na een aardbeving intact zullen blijven.

Een voldoende standzekerheid van de toegepaste verankeringen, die bedoeld zijn om de voor de veiligheid relevante voorzieningen en installatiedelen tegen aardbevingen te beschermen, is gewaarborgd. Hetzelfde geldt voor componenten waaraan gevolgschade zou kunnen ontstaan.

Hieronder wordt aangegeven op welke wijze de bestendigheid is aangetoond. De verschillende stappen waarin dat achtereenvolgens gedaan is zijn daarbij gegeven.

Aardbeving

Gebouwen van de klasse I:

- weergave van de gebouwen door massa-/staafmodellen;
- vaststelling van de reacties van de gebouwen;
- analyse van toereikend draagvermogen van de constructiedelen;
- analyse van toereikend draagvermogen van de verankeringen die bestand dienen te zijn tegen belastingen als gevolg van aardbevingen;
- berekeningen;
- kwaliteitsborgingseisen.

Gebouwen van de klasse IIA:

- weergave van gebouwen door vereenvoudigde staafmodellen;
- vaststelling van de reacties van de gebouwen (plastische vervormingen en het optreden van scheuren zijn hierbij toegestaan);
- waarborging van voldoende veiligheid bij het falen van vitale constructiedelen.

Gebouwen van de klassen I en IIA ten opzichte van elkaar:

- weergave van gebouwen door vereenvoudigde staafmodellen;
- vaststelling van toelaatbare wisselende belastingen op de gebouwen.

Vliegtuigval

- weergave van de buitenmuren van de gebouwen 01, 02, 33 en 35 door rotatiesymmetrische modellen met representatieve afmetingen en het uitvoeren van een belasting door het er tegen laten botsen van een vliegend voorwerp ;
- vaststelling van de hieruit voortvloeiende belastingen;
- analyse van het weerstandsvermogen tegen belastingen die worden veroorzaakt door een neerstortend vliegtuig.

Explosiedruk golf

- weergave van de gebouwen 01, 02, 33 en 35 door massa/staafmodellen;
- vaststelling van de reacties van de gebouwen;
- waarborging van voldoende draagvermogen van de constructiedelen.

Binnen deze gebouwen (01, 02, 33 en 35) zijn bouwkundige voorzieningen getroffen om de gevolgen van invloeden van binnenuit te kunnen beheersen. Deze bouwkundige voorzieningen moeten ervoor zorgen dat (zie paragraaf 5.9):

- de uitwerking van deze invloeden geen gevolgen heeft die meerdere redundanties van één systeem treffen;
- de veiligheidssystemen goed kunnen blijven functioneren, of dat een toereikende capaciteit daarvan gewaarborgd blijft;
- escalatie van schade wordt voorkomen;
- de barrières goed blijven functioneren.

Doordat het machinegebouw en de turbine in het verlengde van het reactorgebouw liggen, zijn de gebouwen van klasse I beschermd tegen de gevolgen van een turbine-ongeval (zie paragraaf 5.9.6).

5.10.7.2 Systemen en componenten

Waar van toepassing is aangetoond, dat de componenten dusdanig zijn ontworpen, dat zij bestand zijn tegen geïnduceerde schokken als gevolg van een aardbeving. De beveiliging van de componenten tegen neerstortende vliegtuigen en explosiedrukgolven is verzekerd, doordat de gebouwen zelf tegen deze invloeden van buitenaf zijn ontworpen.

Systemen of systeemdelen die bijdragen aan de handhaving van de veiligheidsfuncties na een aardbeving (intact of geschikt tot functioneren: aardbevingsklasse I) zijn:

- drukvoerende begrenzing van het primair systeem (YA, YB, YC, YD, YP);
- meet- en regeltechniek (YZ);
- regelstaafbesturing (YS);
- primair reservesuppletiesysteem (TW);
- reserve nakoelsysteem (TE);
- reserve noodkoelwatersysteem (VE);
- aardbevingsbestendig deel van splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG) met koeling via het reservebassinkoelsysteem (TG080);
- hoofdstoomsysteem (RA) binnen het reactorgebouw;
- secundair reservesuppletiesysteem (RS);
- de veiligheidsomhulling (XA);
- nucleair ventilatiesysteem (TL);
- ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw 35 (UV/UW);
- specifieke leidingdelen en/of afsluiters van veiligheidssystemen die het functioneren van bovenstaande systemen faciliteren:
 - o kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
 - o hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL);
 - o volumeregelsysteem (TA).

Deze systemen zijn aan de hand van onderstaande bewijsmethoden gecontroleerd. Voor componenten, die na een aardbeving de integriteit of de geschiktheid tot functioneren van systemen en componenten van de aardbevingsklasse I in gevaar zouden kunnen brengen, is eveneens de standzekerheid aangetoond (aardbevingsklasse IIA componenten).

Om aan te tonen, dat de betreffende systemen en componenten bestand zijn tegen mogelijke aardbevingen, zijn onderstaande bewijsmethoden apart of in combinatie toegepast:

- rekenkundige methoden;
- experimentele methoden (type beproevingen);
- analogie- en plausibiliteitsbeschouwingen;
- richtlijnen voor het leggen van pijpleidingen;
- ontwerpnomogrammen voor ventilatiekanalen;
- inspectiegang.

De rekenkundige bewijsvoering is gebaseerd op hetzij de responsiespectramethode, de tijdsduurmethode of op geëigende, aan de specifieke problematiek aangepaste equivalente methoden. Waar nodig is daarbij gebruik gemaakt van eindige- elementenanalyse.

Experimentele bewijzen voor werktuigbouwkundige componenten en kabeldraagconstructies zijn in een proefopstelling of in industriële installaties geleverd. De proeven zijn uitgevoerd met acceleraties die overeenkomen met die voor de ontwerpaardbeving voor de locatie Borssele (type beproevingen).

Wanneer de principes van overdraagbaarheid kunnen worden aangehouden, zijn in plaats van de rekenkundige en experimentele methoden, analogie- en plausibiliteitsbeschouwingen toegepast.

Voor pijpleidingen is een richtlijn voor het aanbrengen opgesteld. Met inachtneming van randvoorwaarden die uit de constructie voortvloeien, zijn de pijpleidingen op toegestane afstanden tussen de ondersteuning bevestigd. De nodige flexibiliteit is door het aanhouden van de juiste buig lengten verzekerd. Voor pijpleidingen die niet volgens de voorschriften uit de richtlijn konden worden gelegd, zijn rekenkundige bewijzen geleverd.

Aangezien bij ventilatiekanalen de sterkte van de flensverbindingen en het stabiliteitsgedrag van de platen rekenkundig moeilijk vast te stellen zijn, zijn deze proefondervindelijk bepaald. Op basis van deze proefresultaten zijn ontwerpnomogrammen opgesteld waarmee de afstand tussen de ondersteuning als functie van de optredende versnellingen bepaald kunnen worden.

De beoordeling met betrekking tot aardbevingsbestendigheid van bestaande componenten en systemen heeft plaatsgevonden in de vorm van inspectierondgangen door de installatie door deskundigen op aardbevingsgebied. Aan de hand van responsiespectra en controlelijsten is geïventariseerd welke maatregelen genomen dienden te worden teneinde de beoogde aardbevingsbestendigheid te bereiken.

5.10.7.3 Elektrotechnische installaties en meet- en regelsystemen

De elektrotechnische installaties en meet- en regelsystemen die belangrijk zijn voor de veiligheid, zijn zó ontworpen, dat zij bestand zijn tegen door een aardbeving geïnduceerde schokken. Het betreft de volgende installaties en systemen:

- noodstroomnet 2;
- het gedeelte van het procespresentatie-systeem voor presentatie in het reserveregelzaalgebouw;
- de veiligheidsrelevante meet-en regelinstrumentatie van de systemen weergegeven in paragraaf 5.10.7.2.

De bestendigheid tegen een vliegtuigongeluk en een explosiedruk golf volgt uit het ontwerp van de gebouwen, die bestand zijn tegen deze invloeden van buitenaf.

Om de uitwerking van een aardbeving op voor de veiligheid belangrijke elektrotechnische en meet- en regeltechnische componenten te kunnen evalueren, zijn de omvang van en de eisen aan de verschillende componenten en het benodigde instrumentarium gedefinieerd. Dit is bijvoorbeeld voor de volgende componenten gebeurd:

- laag- en middenspanningskasten;
- regelkasten;
- schakelpanelen;
- elektromotoren;
- meetwaarde-omvormers.

Tevens zijn voor de elektrotechnische en meet- en regelcomponenten experimentele onderzoeken gedaan.

Het vertalen van de bevindingen uit die experimentele onderzoeken in conclusies die gelden voor componenten en individuele aggregaten van de kernenergiecentrale Borssele, vond plaats op basis van:

- analogiebeschouwingen;
- plausibiliteitsbeschouwingen;
- rekenkundige analyses.

Bij de analogiebeschouwingen is uitgegaan van referentieresultaten. Daarbij wordt aangetoond dat enerzijds de statische parameters, de dynamische eigenschappen en de belastingen overdraagbaar zijn en dat anderzijds de constructies vergelijkbaar zijn.

In plaats van rekenkundige of experimentele bewijzen dat elektrotechnische en meet- en regeltechnische componenten bestand zijn tegen belastingen als gevolg van een aardbeving, zijn aan de hand van het ontwerp van die installatiedelen voor andere belastingen, plausibiliteitsbeschouwingen gehouden. Hierbij is aangetoond, dat er tegen falen als gevolg van een aardbeving voldoende garanties aanwezig zijn.

Voor de dragende constructies ten behoeve van de elektrotechnische en meet- en regelsystemen zijn rekenkundige bewijzen geleverd. Uitgangspunt voor de berekeningen waren de zogenaamde etageresponsiespectra.

De voornoemde bewijsvoering vormt de documentatie die bij de inspectierondgangen door de installatie als basis diende; alle essentiële informatie over de constructie en de elektrotechnische en meet- en regeltechnische componenten is hierin opgenomen.

Aangetoond is dat delen van de elektrotechnische en meet- en regeltechnische systemen die van belang zijn voor de handhaving van de essentiële veiligheidsfuncties, zullen blijven functioneren tijdens en na aardbevingen zoals deze op de locatie Borssele kunnen optreden.

INHOUDSOPGAVE

6.	SYSTEEMBESCHRIJVINGEN	6-6
6.1	REACTOR	6-6
6.1.1	Definities	6-6
6.1.2	Inleiding	6-8
6.1.3	Mechanisch ontwerp van de splijtstofelementen	6-12
6.1.3.1	Uitgangspunten van het ontwerp	6-12
6.1.3.2	Beschrijving van de constructie	6-13
6.1.3.3	Ontwerpberekeningen.....	6-15
6.1.4	Neutronenfysisch ontwerp van de kern.....	6-18
6.1.4.1	Doelstelling	6-18
6.1.4.2	Vermogensdichtheidsverdeling.....	6-18
6.1.4.3	Reactiviteitscoëfficiënten	6-18
6.1.4.4	Reactorregeling.....	6-19
6.1.4.5	Reactiviteit in afgeschakelde toestand en reactiviteitsbalans.....	6-20
6.1.4.6	Stabiliteit van de reactorkern	6-20
6.1.4.7	Kernbelading.....	6-20
6.1.5	Thermohydraulisch ontwerp van de kern	6-21
6.1.5.1	Doelstelling	6-21
6.1.5.2	Thermohydraulische kernontwerp	6-21
6.1.5.3	Ontwerpaspecten.....	6-22
6.1.5.4	Kritieke filmkookgrens (DNB).....	6-22
6.1.6	Functioneel ontwerp van de reactiviteitscontrolesystemen.....	6-22
6.2	REACTORKOEL- EN DRUKHOUDSYSTEEM	6-24
6.2.1	Reactorkoel- en drukhoudsysteem	6-24
6.2.1.1	Beschrijving en ontwerp.....	6-24
6.2.1.2	Beproevingen.....	6-34
6.2.2	Reactorvat	6-38
6.2.3	Binnenwerk van het reactorvat.....	6-41
6.2.4	Hoofdkoelmiddelpompen.....	6-44
6.2.5	Stoomgeneratoren.....	6-45
6.2.6	Hoofdkoelmiddelleidingen en afsluiters.....	6-48
6.2.7	Drukhouder en afblaastank	6-49
6.2.8	Regelstaafaandrijvingen.....	6-50
6.2.9	Akoestisch bewakingssysteem	6-51
6.3	VEILIGHEIDSVORZIENINGEN	6-53
6.3.1	Het principe van de veiligheidsomsluiting	6-53
6.3.1.1	Functioneel ontwerp van het reactorgebouw (01/02)	6-53
6.3.1.2	Voorzieningen voor het afsluiten van de gebouwen	6-56
6.3.1.3	Waterstofrecombinatie binnen de veiligheidsomhulling.....	6-57
6.3.1.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-58
6.3.2	Nucleair ventilatiesysteem (TL).....	6-59
6.3.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-59
6.3.2.2	Systeembeschrijving	6-59
6.3.2.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-62
6.3.2.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-62
6.3.3	Kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ)	6-65
6.3.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-65
6.3.3.2	Systeembeschrijving.....	6-65
6.3.3.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-67
6.3.3.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-74
6.3.4	Primair reservesuppletiesysteem (TW).....	6-76
6.3.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-76
6.3.4.2	Systeembeschrijving	6-76
6.3.4.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-78
6.3.4.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-78

6.3.5	Reserve nakoelsysteem (TE).....	6-80
6.3.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-80
6.3.5.2	Systeembeschrijving.....	6-80
6.3.5.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-82
6.3.5.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-82
6.3.6	Reserve noodkoelwatersysteem (VE).....	6-83
6.3.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-83
6.3.6.2	Systeembeschrijving.....	6-83
6.3.6.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-84
6.3.6.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-84
6.3.7	Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL).....	6-85
6.3.7.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-85
6.3.7.2	Systeembeschrijving.....	6-85
6.3.7.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-88
6.3.7.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-88
6.3.8	Secundair reservesuppletiesysteem (RS).....	6-90
6.3.8.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-90
6.3.8.2	Systeembeschrijving.....	6-90
6.3.8.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-92
6.3.8.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-92
6.3.9	Hoofdstoomsysteem (RA).....	6-95
6.3.9.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-95
6.3.9.2	Systeembeschrijving.....	6-95
6.3.9.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-98
6.3.9.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-99
6.3.10	Ventilatiesysteem regelzaal (UV/UW).....	6-100
6.3.10.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-100
6.3.10.2	Systeembeschrijving.....	6-100
6.3.10.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-101
6.3.10.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-101
6.3.11	Ventilatiesysteem reserveregelzaalgebouw (UV/UW).....	6-104
6.3.11.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-104
6.3.11.2	Systeembeschrijving.....	6-104
6.3.11.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-104
6.3.11.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-104
6.4	MEET- EN REGELSYSTEMEN	6-106
6.4.1	Meet- en regelsystemen.....	6-109
6.4.1.1	Meettechniek.....	6-109
6.4.1.2	Besturings- en regelinrichtingen.....	6-114
6.4.1.3	Storingsmeldingssysteem.....	6-123
6.4.1.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-124
6.4.2	Reactorbeveiligingssysteem (YZ).....	6-125
6.4.2.1	Taak.....	6-125
6.4.2.2	Samenstelling van het systeem.....	6-125
6.4.2.3	Activeringssignalen.....	6-130
6.4.2.4	Reactorbeveiligingspaneel.....	6-136
6.4.2.5	Beveiligingsacties bij ontwerpgevallen.....	6-136
6.4.2.6	Veiligheidsbeschouwing.....	6-138
6.4.3	Panelen.....	6-139
6.4.3.1	Regelzaal, reserve-regelzaal, lokale bedieningspanelen.....	6-139
6.4.3.2	Informatiesystemen.....	6-141
6.4.3.3	Veiligheidsbeschouwing.....	6-143
6.5	ELEKTROTECHNISCHE INSTALLATIE	6-145
6.5.1	Aansluiting op het net.....	6-145
6.5.2	Stroomvoorziening voor het eigenbedrijf.....	6-147
6.5.2.1	Algemeen.....	6-147
6.5.2.2	6 kV-installaties.....	6-147
6.5.2.3	Laagspanningsinstallaties.....	6-147

6.5.2.4	Elektronische besturing.....	6-148
6.5.2.5	Kabels	6-148
6.5.2.6	Hoogspanningsmotoren.....	6-149
6.5.2.7	Laagspanningsmotoren	6-149
6.5.2.8	Transformatoren	6-149
6.5.2.9	Doorvoeringen door de veiligheidsomhulling.....	6-151
6.5.3	Noodstroomvoorziening	6-152
6.5.3.1	Algemeen	6-152
6.5.3.2	Dieselininstallaties	6-153
6.5.3.3	Omvormers	6-153
6.5.3.4	Accu's en gelijkrichters voor 220 en 24 V	6-154
6.5.4	Verlichting en huisinstallatie	6-155
6.5.4.1	Normaal net 400 V/220 V, 50 Hz	6-155
6.5.4.2	Noodverlichtingsinstallatie	6-155
6.5.4.3	Vluchtwegverlichting	6-155
6.5.5	Aarding en bliksembeveiliging.....	6-156
6.5.6	Veiligheidsbeschouwing elektrotechnische installatie.....	6-158
6.6	BEDRIJFS- EN HULPSYSTEMEN	6-159
6.6.1	Nucleair tussenkoelwatersysteem (TF).....	6-159
6.6.1.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-159
6.6.1.2	Systeembeschrijving	6-159
6.6.1.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-161
6.6.1.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-161
6.6.2	Conventioneel tussenkoelwatersysteem (VG)	6-163
6.6.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-163
6.6.2.2	Systeembeschrijving	6-163
6.6.2.3	Wijzen van bedrijfsvoering	6-163
6.6.2.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-164
6.6.3	Nood- en nevenkoelwatersysteem (VF).....	6-166
6.6.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-166
6.6.3.2	Systeembeschrijving	6-166
6.6.3.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-168
6.6.3.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-168
6.6.4	Hoofdcoelwatersysteem (VC)	6-169
6.6.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-169
6.6.4.2	Systeembeschrijving	6-169
6.6.5	Volumeregelsysteem (TA).....	6-171
6.6.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-171
6.6.5.2	Systeembeschrijving	6-171
6.6.5.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-172
6.6.5.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-174
6.6.6	Nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).....	6-175
6.6.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-175
6.6.6.2	Systeembeschrijving	6-175
6.6.6.3	Wijze van bedrijfsvoering	6-176
6.6.6.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-176
6.6.7	Hoofdcoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC).....	6-179
6.6.7.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-179
6.6.7.2	Systeembeschrijving	6-179
6.6.8	Hoofdcoelmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD)	6-182
6.6.8.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-182
6.6.8.2	Systeembeschrijving	6-182
6.6.9	Koelsysteem van het biologisch schild (TM).....	6-185
6.6.9.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-185
6.6.9.2	Systeembeschrijving	6-185
6.6.10	Water- en stoomverzorgingssysteem (TN)	6-187
6.6.10.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-187
6.6.10.2	Systeembeschrijving	6-187

6.6.11	Persluchtsysteem (TP050-080).....	6-189
6.6.11.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-189
6.6.11.2	Systeembeschrijving.....	6-189
6.6.12	Monsternamesysteem (TV).....	6-189
6.6.12.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-189
6.6.12.2	Systeembeschrijving.....	6-189
6.6.13	Installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY).....	6-190
6.6.13.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-190
6.6.13.2	Systeembeschrijving.....	6-190
6.6.14	Nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ).....	6-190
6.6.14.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-190
6.6.14.2	Systeembeschrijving.....	6-190
6.6.15	Deminwateraanmaaksysteem (UA).....	6-191
6.6.15.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-191
6.6.15.2	Systeembeschrijving.....	6-191
6.6.16	Telefoon- en alarminstallaties.....	6-191
6.7	CONVENTIONEEL SYSTEEM	6-192
6.7.1	Turbogenerator (SA-SZ).....	6-194
6.7.1.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-194
6.7.1.2	Systeembeschrijving.....	6-194
6.7.2	Hoofdcondensaatsysteem (RM).....	6-197
6.7.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-197
6.7.2.2	Systeembeschrijving.....	6-197
6.7.3	Hulpstoomsysteem (RQ).....	6-199
6.7.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-199
6.7.3.2	Systeembeschrijving.....	6-199
6.7.4	Stoomgeneratorspuisysteem (RY).....	6-200
6.7.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-200
6.7.4.2	Systeembeschrijving.....	6-200
6.7.5	Deminwatersuppletiesysteem (RZ).....	6-200
6.7.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-200
6.7.5.2	Systeembeschrijving.....	6-200
6.8	BRANDBEHEERSSYSTEMEN	6-201
6.8.1	Brandmeldinstallatie (MF).....	6-201
6.8.2	HD-brandblussysteem (UF).....	6-201
6.8.3	LD-brandblussysteem (UJ).....	6-202
6.8.4	Brandblussysteem transformatoren (UG).....	6-203
6.8.5	CO ₂ - en Inergenblusinstallatie (UX).....	6-203
6.9	SPLIJTSTOFOPSLAGSYSTEMEN	6-204
6.9.1	Opslag van splijtstofelementen.....	6-204
6.9.1.1	Opslag van nieuwe splijtstofelementen.....	6-204
6.9.1.2	Opslag van gebruikte splijtstofelementen.....	6-204
6.9.2	Splijtstofopslagbassincoelsysteem (TG).....	6-206
6.9.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-206
6.9.2.2	Systeembeschrijving.....	6-206
6.9.2.3	Wijze van bedrijfsvoering.....	6-209
6.9.2.4	Veiligheidsbeschouwing.....	6-209
6.10	RADIOACTIEF AFVALBEHANDELING	6-211
6.10.1	Radioactief afvalwatersysteem (TR).....	6-211
6.10.1.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-211
6.10.1.2	Systeembeschrijving.....	6-211
6.10.1.3	Lozing van vloeibaar radioactief afval.....	6-212
6.10.2	Radioactief gasbehandelingsysteem (TS, TL).....	6-214
6.10.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-214
6.10.2.2	Systeembeschrijving.....	6-214
6.10.2.3	Lozing van gasvormig radioactief afval.....	6-215
6.10.3	Radioactief vast afvalstelsel (TT).....	6-217
6.10.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-217

6.10.3.2	Systeembeschrijving	6-217
6.11	VOORZIENINGEN VOOR HET BEHEERSEN VAN ERNSTIGE ONGEVALLEN	6-218
6.11.1	Concept van maatregelen bij ernstige ongevallen	6-218
6.11.2	Accident Management maatregelen	6-219
6.11.2.1	Vergroten van de beschikbare water- en dieselveorraad in het reservesuppletiegebouw (33)	6-219
6.11.2.2	Additionele watertoevoer naar de stoomgeneratoren.....	6-220
6.11.2.3	Additionele watertoevoer naar het primair systeem	6-220
6.11.2.4	Additionele watertoevoer naar het splijtstofopslagbassin.....	6-220
6.11.2.5	Watertoevoer ten behoeve van externe reactorvatkoeling	6-220
6.11.2.6	Elektriciteitsvoorziening tijdens een "Station Blackout"	6-221
6.11.3	Systeem voor gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling (TL003)	6-222
6.11.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-222
6.11.3.2	Systeembeschrijving	6-223
6.11.4	Gasdetectie- en ontsteeksysteem (MK)	6-225
6.11.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-225
6.11.4.2	Systeembeschrijving	6-225
6.11.5	Passief waterstofrecombinatiesysteem (TS-100)	6-225
6.11.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-225
6.11.5.2	Systeembeschrijving	6-225
6.11.6	Explosieluiken (ZB)	6-226
6.11.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp.....	6-226
6.11.6.2	Systeembeschrijving	6-226
6.11.7	Ongevals-monsternamesysteem	6-226

6. SYSTEEMBESCHRIJVINGEN

6.1 REACTOR

In dit hoofdstuk wordt de reactor besproken. In de eerste paragraaf worden enkele definities gegeven. De tweede paragraaf geeft een inleiding van het hoofdstuk. In de drie daarop volgende paragrafen worden respectievelijk het mechanisch ontwerp van de splijtstofelementen en het neutronenfysisch en thermohydraulisch ontwerp van de kern besproken. In de zesde tevens laatste paragraaf wordt van de reactiviteitscontrolesystemen het functioneel ontwerp behandeld.

6.1.1 Definities

Absorber

Absorber is een materiaal dat straling absorbeert. Voor gamma-straling worden materialen met een hoog atoomgetal en een grote soortelijke massa als absorber toegepast (lood, staal, beton deels met speciale toevoegingen). Sterke neutronen-absorbers zijn borium (het isotoop Borium-10), gadolinium, hafnium en cadmium. Deze kunnen worden gebruikt in zowel de regelementen en de moderator (primair hoofdkoelmiddel) als in de splijtstof, afhankelijk van de toepassing.

Reprocessed (recycled) Uranium

Reprocessed (recycled) uranium is uranium dat teruggewonnen is uit bestraalde splijtstof en dat gekenmerkt wordt door de aanwezigheid van isotopen die in natuurlijk uranium niet voorkomen, zoals uranium-232 en uranium-236.

(Compensated) Enriched Reprocessed Uranium

(Gecompenseerd) verrijkt gerecycled uranium. Reprocessed (recycled) uranium kan optioneel ter compensatie van niet-natuurlijke uraniumisotopen (die het kernsplijtingsproces minder efficiënt maken), extra verrijkt worden met uranium-235. Het "gecompenseerde" uranium is qua reactiviteit equivalent aan verrijkt natuurlijk uranium.

Doppler-effect

Verandering van de absorptiedoorsnede van uranium en plutonium voor neutronen. Deze is afhankelijk van de relatieve snelheid tussen neutronen en uranium- of plutoniumkernen, die beïnvloed wordt door de temperatuur in het kristalrooster van de splijtstof.

Enriched Natural Uranium (ENU)

Verrijkt natuurlijk uranium. Voor dat het bestraald wordt bevat dit alleen isotopen die in de natuur voorkomen, te weten uranium-238, uranium-235 en in geringe mate uranium-234.

Filmkoken

Bij filmkoken vormen de afzonderlijke dampbellen aan het verwarmde oppervlak een aaneengesloten film. De warmte-overdracht van het verwarmde oppervlak aan de vloeistof vindt via deze stoomfilm plaats.

Kiemkoken

Bij kiemkoken worden aan het verwarmd oppervlak afzonderlijke dampbellen gevormd. Het verwarmd oppervlak blijft hierbij volledig door de vloeistof bevochtigd.

Moderator

Moderator is een stof, die in een korte tijd (10^{-4} s tot 10^{-5} s) door elastische botsingen de splijtingsneutronen zodanig afremt, dat hun hoge aanvangsenergie (gemiddeld 2 MeV) wordt teruggebracht tot thermische energie (minder dan 0,5 eV). De moderator absorbeert de neutronen slechts in geringe mate.

Mengoxide

Een splijtstof samengesteld uit een mengsel van uraniumdioxide en plutoniumdioxide.

MOX splijtstofelement

Een splijtstofelement waarvan de verse splijtstof uit mengoxide splijtstof bestaat.

Reactiviteit

De reactiviteit van een reactor is een maatstaf voor de relatieve afwijking tot de kritische toestand.

$$\rho = \frac{k_{\text{eff}} - 1}{k_{\text{eff}}}$$

waarin

ρ = reactiviteit

k_{eff} = effectieve vermenigvuldigingsfactor

Reactiviteitsbeheersing met (verrijkt) borium

Fijnregeling van de reactiviteit vindt plaats door middel van de regeling van het gehalte aan borium-10 (effectieve neutronabsorber) in het hoofdkoelmiddel. Toevoeging van borium aan het hoofdkoelmiddel gebeurt in de vorm van geboreerd water. Als basis hiervoor dient borium in de vorm van natuurlijk borium of als verrijkt borium. De laatste bevat een hoger percentage aan borium-10 (32 at.% t.o.v 19,78 at.% van natuurlijk borium). Verrijkt borium moet worden toegepast bij de inzet van MOX als splijtstof en kan worden gebruikt bij UO_2 ¹.

Reactiviteit bij afschakeling

Reactiviteit bij afschakeling is de reactiviteit van de reactor, die door afschakeling met behulp van in het bedrijf gebruikelijke middelen in onderkritische toestand is gebracht. Zij hangt over het algemeen af van de bedrijfsvoering van de reactor en de duur van de afgeschakelde toestand, en is altijd negatief.

Vergiftiging

Bij het bedrijven van de reactor ontstaan splijtingsproducten, waarvan enkele een grote absorptiedoorsnede voor neutronen hebben (bijvoorbeeld xenon-135). Deze reactorvergiftiging moet door het reactiviteitsregelsysteem worden gecompenseerd teneinde de reactor op zijn vermogensniveau te handhaven.

Verrijking

Uranium geldt als verrijkt, wanneer het een hoger gehalte aan uranium-235 bevat dan natuurlijk uranium (0,711 % uranium-235).

Verrijkingsgraad

Het massagehalte van uranium-235 in verrijkt natuurlijk uranium of in verrijkt gerecycled uranium in procenten. Verrijkingsgraad = 100 % * (massa Uranium-235 / massa alle uraniumisotopen).

¹ Essentieel is het borium-10 gehalte in het koelmiddel ten behoeve van de bedrijfsvoering en afschakelcondities; bij UO_2 toepassing wordt aan alle criteria op dit punt voldaan bij toepassing van zowel natuurlijk als verrijkt borium, voor MOX inzet is toepassing van verrijkt borium vereist.

Verrijkt borium

Borium komt in de natuur voor als samenstel van twee (stabiele) isotopen borium-10 en borium-11, in de verhouding van 19,78 at.% tot 80,22 at.%. Voor reactiviteitbeheersing is het isotoop borium-10 van belang. Om de effectiviteit van Borium (dat aan het hoofdkoelmiddel wordt toegevoegd) te vergroten, kan het percentage borium-10 worden verhoogd. Er is dan sprake van verrijkt borium. Bij inzet van MOX splijststofelementen wordt het percentage borium-10 verhoogd tot 32 gew.%. Wanneer er sprake is van toepassing van verrijkt boor bij KCB wordt derhalve het borium bedoeld met een borium-10 percentage van ten minste 32 gew.%.

Gehalte aan splijtbaar plutonium (Pu-splijtbaar)

Het massagehalte van de splijtbare isotopen plutonium-239 en plutonium-241 in verse MOX splijststof uitgedrukt als fractie van de massa van alle zware metalen. Hierbij is de verrijkingsgraad van de uranium component 0,25%.

Versplijting

Versplijting is bij splijststoffen de verhouding van de in de splijststof opgewekte energie tot de massa van het zware metaal in de gebruikte splijststof, eenheid bijvoorbeeld MWd/kg.

Bij niet splijtbare stoffen is de versplijtingsfractie de door neutronenvangst omgezette fractie van het totale aantal atomen van een nuclide. De versplijting wordt vaak weergegeven in %.

Zwaar Metaal (ZM)

Hier: uranium, plutonium en americium.

6.1.2 Inleiding

De reactor is samengesteld uit de reactorkern met regelementen en smooreslementen, het binnenwerk van het reactorvat (paragraaf 5.2.2), de regelstaafaandrijving (paragraaf 5.2.3) en het reactorvat (paragraaf 5.2.1). In dit hoofdstuk worden alleen de reactorkern en het functionele ontwerp van de reactiviteitscontrolesystemen behandeld. Bij behandeling van de reactorkern worden de volgende 3 aspecten onderscheiden: splijststofelement, neutronenfysica en thermohydrauliek.

De reactorkern is de nucleaire warmtebron van de kernenergiecentrale. Hij is bevestigd in de kernhouder en is samengesteld uit in totaal 121 splijststofelementen. Alle splijststofelementen zijn in principe identiek geconstrueerd, maar kunnen van elkaar verschillen in het soort splijststof (uraniumdioxide of mengoxide). Op 28 posities in de kern kan een regelement in het splijststofelement geschoven worden (figuur 6.1.2/1).

Na elke splijststofcyclus wordt telkens een deel van de splijststofelementen vervangen afhankelijk van de geplande cyclusbijhouding. Ter illustratie is een karakteristieke kern weergegeven in figuur 6.1.2/2 een karakteristieke kernconfiguratie met ENU splijststofelementen weergegeven. Deze bevat splijststofelementen tot aan de vijfde standtijd en initiële verrijking van $4,40 \pm 0,05$ % uranium-235. Er zijn tevens kernconfiguraties met (c-)ERU- elementen en met MOX-elementen mogelijk. Het aantal MOX-elementen in de kern is door de KeW-vergunning gelimiteerd op 40% (maximaal 48 MOX-elementen).

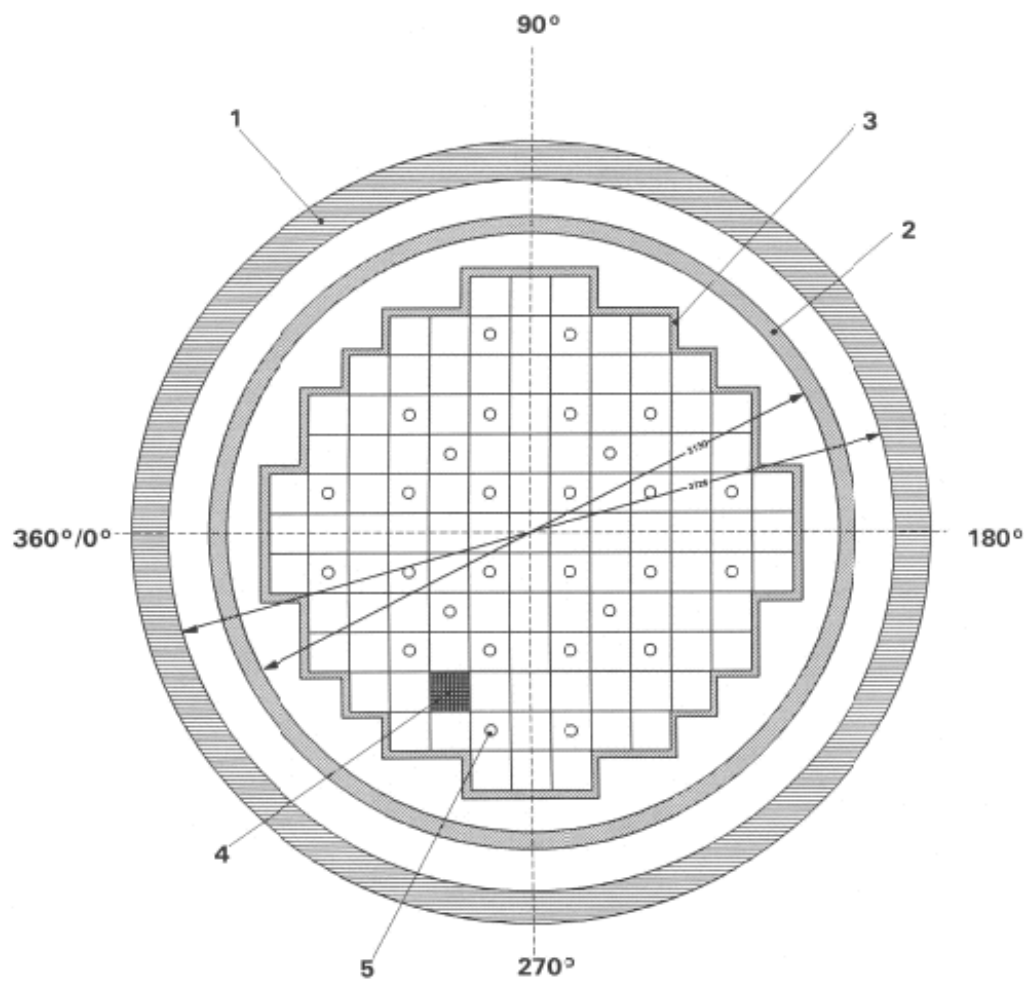
Het hoofdkoelmiddel, dat ook als moderator fungeert en opgelost borium bevat, komt door twee inlaatstempen het reactorvat binnen en stroomt in de ringvormige ruimte tussen de kernhouder en het reactorvat omlaag. Op de bolvormige bodem wordt de stroomrichting omgekeerd. Het hoofdkoelmiddel stroomt dan in opwaartse richting door de kern en verlaat het reactorvat weer door twee uitlaatstempen.

Borium wordt in de vorm van natuurlijk of verrijkt borium toegepast met respectievelijk 19,78% en 32% borium-10. Bij de toepassing van kernen die bestaan uit ENU en/of (c-)ERU splijtstofelementen kunnen zowel natuurlijk als verrijkt borium worden gebruikt; MOX- elementen worden alleen ingezet in combinatie met verrijkt borium.

Tabel 6.1.2/1 geeft een overzicht van de belangrijkste gegevens met betrekking tot de reactorkern. De in deze tabel opgenomen waarden zijn indicatieve waarden. De aangegeven afmetingen zijn nominale waarden bepaald voor koude toestand (20 °C).

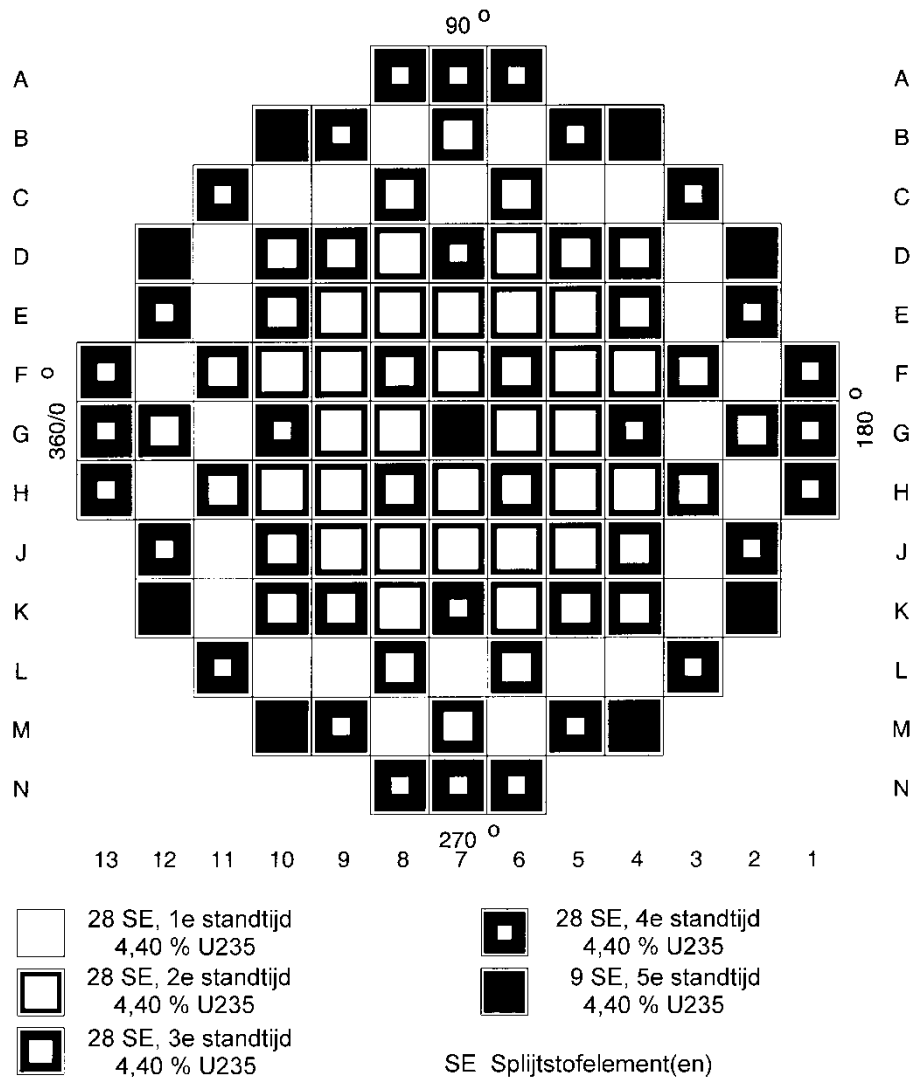
Tabel 6.1.2/1 Belangrijkste gegevens betreffende de reactorkern

Bedrijfsdruk (uittreden reactorvat)		155	bar
Koelmiddeltemperatuur:			
- inlaat		292,5	°C
- uitlaat		317,5	°C
Ingestelde gemiddelde koelmiddeltemperatuur		303,5	°C *
Hoofdkoelmiddeldebiet (ontwerp van de pompen)		10000	kg/s
Aantal splijstofelementen		121	
Aantal regelementen		28	
Aantal afstandshouders per splijstofelement		7	
Type splijstofelement		15 x 15 - 20	
Actieve lengte van de splijstofstaven		2650	mm
Buitendiameter van de splijstofstaven		10,75	mm
Totaalgewicht per splijstofelement		500	kg
Thermisch vermogen van de reactor		1365,6	MW
Gemiddelde vermogensdichtheid van de reactorkern (heet)		90,2	kW/dm ³
Gemiddeld specifiek splijstofvermogen		35,6	kW/kgZM **
Gemiddeld lineïek vermogen van een splijstofstaaf		202,7	W/cm
Gemiddelde warmteflux		59,9	W/cm ²
Splijstof		UO ₂ , PuO ₂	
Uranium-235 verrijking van de splijstof (ENU, ERU)	max.	4,40 ± 0,05 % (gewicht)	
Uranium-235 verrijking van de splijstof (c-ERU)	max.	4,60 ± 0,05 % (gewicht)	
Plutonium-239 en plutonium-241 in MOX splijstof (gemiddeld over het element)	max.	5,41% (gewicht)	
Hoeveelheid uranium		39.103	kg
Minimale DNB-verhouding (ontwerp)		1,30	
Heet-kanaal-factoren (ontwerplimietwaarden):			
- F _Q		2,80	
- F _{ΔH}		1,80	
Grenswaarden voor de ongevalsanalyses:			
Maximale splijstofomhullingstemperatuur bij (koelmiddelverlies)ongevallen		1200	°C
Maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet, bij ongevallen		966	J/g
* Ontwerpwaarde gemiddelde koelmiddeltemperatuur		307,4	°C
** Zwaar Metaal			



- | |
|--|
| 1 Reactorvat
2 Kernhouder
3 Kernmantel
4 Positie van een splijstofelement
5 Positie van een regelelement |
|--|

Figuur 6.1.2/1 Dwarsdoorsnede van de reactorkern



Figuur 6.1.2/2 Karakteristiek beladingsplan

6.1.3 Mechanisch ontwerp van de splijststofelementen

Het mechanisch-thermische ontwerp van de splijststofelementen is enerzijds gebaseerd op de berekening van het mechanisch-thermische gedrag van de splijststofstaven als functie van de vermogensdichtheid, van de versplijting en van de thermodynamische toestand van het koelmiddel, en anderzijds op de berekening van het mechanisch-thermisch gedrag van de splijststofelementstructuur onder de belastingen zoals die tijdens het bedrijf en bij ongevallen op de splijststofelementen kunnen inwerken.

6.1.3.1 Uitgangspunten van het ontwerp

De belangrijkste veiligheidstechnische doelstellingen van het ontwerp zijn:

- het voorkomen dat radioactieve deeltjes in het koelwater terecht komen;
- het waarborgen dat de reactor bij ongevallen kan worden afgeschakeld en in afgeschakelde toestand kan worden gehouden;
- het realiseren van een geometrie waarbij voldoende (na)koeling mogelijk is.

Om aan deze doelstellingen te kunnen voldoen, zijn voor de splijfstofstaaf en de structuur van het splijstfofelement de volgende ontwerpcriteria, met betrekking tot bedrijfs- en ongevalssituaties, toegepast:

- de temperatuur in het hart van de splijststof moet lager zijn dan de smeltemperatuur;
- de inwendige druk van de splijststofstaaf mag er niet toe leiden, dat de ruimte tussen splijststof en huls groter wordt;
- de vervormingen op grond van variabele wisselwerkingen mogen de voorgeschreven waarden niet overschrijden;
- een ontoelaatbare corrosie dient te worden voorkomen;
- de opname van waterstof in de huls dient te worden beperkt;
- de spanningen in de huls moeten onder de ontwerpgrenzen blijven;
- een elastische en plastische vervorming van de huls door uitwendige overdruk dient te worden voorkomen;
- de enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet, mag de voorgeschreven waarde niet overschrijden *;
- de uniforme rek als gevolg van de wisselwerking tussen de splijstoftabletten en de huls moet onder de ontwerpgrens blijven *;
- schade aan de splijststofstaven door slijtage als gevolg van de wisselwerking tussen de afstandhouders en de splijststofstaven dient te worden voorkomen;
- de splijstfofelementen mogen door de krachten van de stroming niet van het onderste rooster loskomen;
- de spanningen in de geleidingsbuizen van de regelementen en andere constructiedelen dienen zó beperkt te worden, dat de integriteit van de componenten behouden blijft en de componenten goed kunnen blijven functioneren;
- vermoeiingsbreuken mogen niet voorkomen;
- de drukbelasting in de lengterichting van de splijststofstaven als gevolg van wrijvingskrachten tussen de splijststofstaven en de afstandhouders dient beperkt te blijven om de stabiliteit van de splijststofstaven te waarborgen;
- voor de uitzetting van de splijststofstaven in hun lengterichting moet altijd voldoende ruimte zijn om drukbelastingen op de splijststofstaven in de lengterichting te beperken;
- de opname van waterstof in de zirkonium constructiedelen dient zó beperkt te worden dat de integriteit ervan niet vermindert bij blootstelling aan de ontwerpbelastingen.

*) grenswaarden voor de ongevalsanalyses

Uit de eisen tot enerzijds een voor nakoeling geschikte geometrie en anderzijds de mogelijkheid om de reactor bij ongevallen af te schakelen, kan verder afgeleid worden, dat ook tijdens ongevallen een voldoende bescherming tegen het knikken van de geleidingsbuizen dient te zijn gegarandeerd en dat een veilig inbrengen van een voldoende aantal regelementen steeds dient te zijn gewaarborgd.

6.1.3.2 Beschrijving van de constructie

Het splijstfofelement (figuur 6.1.3/1) bestaat uit de splijststofstaven en het skelet van het splijstfofelement.

Binnenin het splijstfofelement zijn splijststofstaven en geleidingsbuizen op roosterposities in een geometrie van 15 x 15 aangebracht. Een splijstfofelement van 15 x 15 heeft 225 roosterposities, waarvan er 20 door geleidingsbuizen en 205 door splijststofstaven worden ingenomen.

Splijststofstaaf

Deze bestaat uit splijstoftabletten van uraniumdioxide of mengoxide in een van een zirkoniumlegering gemaakte huls, die met eindproppen gasdicht en drukbestendig is dichtgelast.

De splijstoftabletten hebben aan de eindvlakken een holle vorm, omdat de uitzetting van het materiaal in het midden het grootst is.

De gasvormige splijtingsproducten die tijdens het bedrijf van de reactor uit de splijststof vrijkomen, worden voornamelijk in de daarvoor bedoelde gasruimten aan de uiteinden van de splijststofstaven verzameld.

Om de belasting van de huls door de koelmiddeldruk kleiner te maken en om de warmte-overdracht te verbeteren, krijgen de splijststofstaven bij de fabricage een inwendige druk van circa 22,5 bar. Als vulgas wordt helium gebruikt, dat voor een goede warmte-overdracht tussen de splijststof en de huls zorgt.

Skelet van het splijstfoelement

Het skelet van het splijstfoelement bestaat uit de afstandshouders, de regelstaafgeleidingsbuizen en de kop en voet van het splijstfoelement. Aan de kop van het splijstfoelement zijn de regelstaafgeleidingsbuizen vastgelast of vastgeschroefd en aan de voet zijn deze vastgeschroefd. De voet van het splijstfoelement is tevens voorzien van een filter dat voorkomt dat losse deeltjes die eventueel in het koelmiddel voorkomen, het element binnendringen en schade veroorzaken aan de splijststofstaven.

De afstandhouders zorgen ervoor, dat de splijststofstaven binnen het splijstfoelement een vaste afstand tot elkaar innemen en houden. Zij bestaan uit dunwandige strips van inconel of zircaloy (een zirconium legering). De splijststofstaven worden verend ingeklemd. De constructie van de afstandhouders zorgt ervoor dat het hoofdkoelmiddel zodanig gestuurd wordt, dat een gelijkmatige opwarming van het hoofdkoelmiddel over de gehele dwarsdoorsnede van de kern wordt verkregen.

De regelstaafgeleidingsbuizen maken deel uit van het skelet van het splijstfoelement en hebben tot taak de regelstaven te geleiden en deze bij een snelle afschakeling tijdens het laatste gedeelte van hun val hydraulisch af te remmen. Zij zijn verdeeld in twee stukken: de eigenlijke regelstaafgeleidingsbuis en het hydraulische dempergedeelte aan de onderkant. Voor de regelstaafgeleidingsbuizen is een zirconiumlegering toegepast.

Om de radiale positie van het splijstfoelement in de reactorkern te fixeren, zijn in de kop en de voet centreergaten aangebracht. Om de axiale positie van het splijstfoelement te handhaven, bevindt zich in de kop een constructie waardoor het splijstfoelement naar beneden gehouden wordt.

Regelement

Elk regelement bestaat uit 20 regelstaven, die aan een spinvormige constructie bevestigd zijn. Aan deze spin kan de aandrijfstang worden gekoppeld. Elk van de 20 regelstaven is opgebouwd uit een metalen huls waarin zich een absorber bevindt. Deze absorber bestaat uit 80% zilver, 15% indium en 5% cadmium. De huls is aan de boven- en onderzijde met proppen afgesloten. De bovenste prop is verbonden met de spin. De prop aan de onderzijde fungeert als stromingslichaam in het hydrodynamische dempergedeelte van de geleidebuis in het splijstfoelement. Om te voorkomen dat het regelement hard op de kopplaat van het splijstfoelement neerkomt, is in de spin een drukveer ingebouwd.

Smooorelementen

De smooorelementen begrenzen de bypass-stroming in de kern die plaatsvindt via de geleidingsbuizen van de splijstfoelementen die geen regelement of meervingerige lans bevatten. Zij bestaan uit een bodemplaat met korte smoorvingers. De smoorvingers steken in de geleidingsbuizen en begrenzen op die manier de stroming. De smooorelementen worden door drukveren op hun plaats gehouden.

6.1.3.3 Ontwerpberekeningen

Ontwerpberekeningen voor de splijtstofstaaf

Invoerparameters bij de berekeningen voor het ontwerp van de splijtstofstaaf zijn enerzijds vaste grootheden zoals materiaaleigenschappen, kernfysische en constructiegegevens, en anderzijds thermohydraulische randvoorwaarden, gekoppeld aan de resultaten van het neutronenfysische ontwerp.

De modellen die bij de rekenmethodes zijn gebruikt, gaan uit van natuurkundige effecten zoals naverdichting van de splijtstof, uitzetting van de splijtstof, verplaatsing van tabletfragmenten, het over de splijtstof omhoogkruipen van de huls en uitzetting van de huls.

De rekenmethodes kunnen worden opgesplitst naar drie deelgebieden: heetkanaalanalyse, analyse van het gedrag van de splijtstofstaven op lange termijn en spanningsanalyse.

Bij de heetkanaalanalyse wordt de radiale temperatuurverdeling binnenin de splijtstof berekend (temperatuuranalyse). Daarbij wordt uitgegaan van de tijdens normaal bedrijf door ongunstige aannames maximaal mogelijke lineïeke vermogen van de splijtstofstaaf. Aangetoond wordt, dat de maximale splijtstoftemperatuur onder de smeltemperatuur van de splijtstof blijft. Bovendien wordt bij deze analyse de mechanische wisselwerking tussen de splijtstof en de huls bij snelle vermogensverhogingen onderzocht. Er wordt aangetoond dat de belasting van de huls door de thermische uitzetting van de splijtstof de ontwerpwaarde niet overschrijdt.

Bij de analyse van het gedrag van de splijtstofstaven op lange termijn wordt de mechanische wisselwerking tussen huls en splijtstof bepaald. Deze komt voort uit het samenspel tussen drukverschillen, warmte-uitzetting, naverdichting en vervorming van de splijtstof.

Verdere effecten die het gedrag op lange termijn kenmerken, zijn het vrijkomen van gasvormige splijtingsproducten, corrosie aan de buitenkant van de huls, de opname van waterstof en de uitzetting van de huls in lengterichting.

De resultaten van de lange-termijnanalyse zijn de uitzettingen, de inwendige druk, de dikte van de corrosielaag en de waterstofconcentratie in het materiaal van de huls aan het eind van de gebruiksduur.

Bij de spanningsanalyse wordt aangetoond, dat de huls niet elastisch knikt of plastisch vervormt. Er wordt aangetoond dat de vergelijkspanningen in de verschillende spanningscategorieën beneden de ontwerpwaarden blijven. De dynamische buigingsbelasting van de splijtstofstaven door stromingskrachten wordt onderzocht. Aangetoond wordt, dat de spanningsamplitude van de trillingen beneden de vermoeiingssterkte blijft.

Onderzocht worden de spanningen aan het begin van de gebruiksduur, wanneer de huls aan het maximale drukverschil tussen de koelmiddeldruk en de inwendige gasdruk is blootgesteld. Twee gevallen worden nader bekeken, te weten de splijtstofstaaf in het heetkanaal (hoogste temperatuur van de huls) en de bedrijfstoestand nullast-heet (grootste drukverschil).

Ontwerpberekeningen voor de constructie van het splijtstofelement

Invoerparameters van de analyse van de integriteit en de juiste werking van de splijtstofelement-constructie zijn constructiegegevens, materiaaleigenschappen, materiaalgedrag bij bestraling, alsook neutronenfysische en thermohydraulische gegevens.

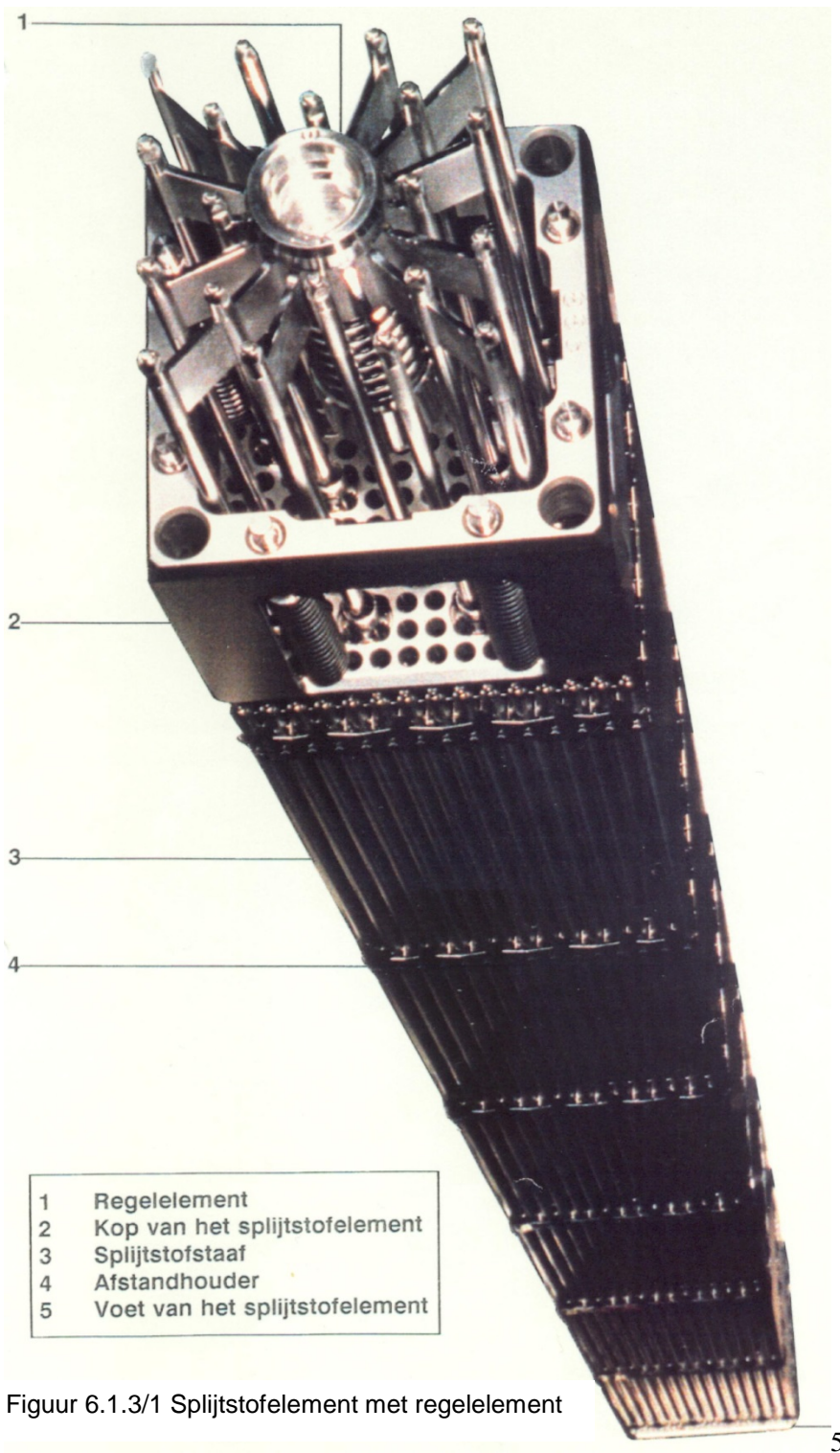
De ontwerpberekeningen zijn te verdelen in analyses voor normaal bedrijf en in analyses voor ongevallen. Voor de omstandigheden tijdens normaal bedrijf wordt aangetoond dat wordt voldaan aan de onderstaande ontwerpcriteria:

- een adequate bevestiging van de splijtstofstaven in de afstandhouders;
- het neergedrukt houden van de splijtstofelementen;

-
- de beperking van de spanningen in de constructies;
 - de uitsluiting van breuken door materiaalvermoeiing;
 - het voorkomen van instabiliteit ten gevolge van drukbelasting in de lengterichting van de splijstofstaaf;
 - het voorkomen van de opname van waterstof in de zirkonium constructie-delen.

Voor de omstandigheden tijdens ongevallen worden als bewijsvoering structuurdynamische programma's op basis van eindige-elementenmethoden toegepast.

Met inachtnaam van de krachten die op de constructies worden uitgeoefend, worden de optredende trillingen onderzocht en wordt aangetoond dat de integriteit van de structuur van het splijstofelement intact blijft.



- | | |
|---|-------------------------------|
| 1 | Regelement |
| 2 | Kop van het splijstofelement |
| 3 | Splijstofstaaf |
| 4 | Afstandhouder |
| 5 | Voet van het splijstofelement |

Figuur 6.1.3/1 Splijstofelement met regelement

6.1.4 **Neutronenfysisch ontwerp van de kern**

6.1.4.1 **Doelstelling**

Belangrijke doelen van het neutronenfysisch ontwerp van de kern zijn het voorkomen van overschrijding van de voorgeschreven maximale waarden voor de vermogensdichtheid, het langdurig onderkritisch kunnen maken van de reactor vanuit elke situatie en het inherent veilige karakter van de kern.

Het neutronenfysische kernontwerp is gebaseerd op de berekening van alle belangrijke wisselwerkingsprocessen tussen de materialen van de kern en de neutronen, die van belang zijn voor het bedrijven van de reactor. Van bijzonder belang zijn daarbij de kernsplijtingen en de verstrooiingsprocessen van de neutronen in de materialen. De resultaten van de berekeningen die met behulp van invoergrootheden zoals kernfysische parameters, geometrische kengetallen en variabele kerngrootten zijn uitgevoerd, zijn de in veiligheidsopzicht relevante grootheden, zoals verdeling van de vermogensdichtheid, reactiviteitscoëfficiënten, reactiviteitsbalans en reactiviteit in afgeschakelde toestand.

Voor het neutronenfysisch ontwerp is dus de samenstelling van de splijtstof van belang: ENU, c-ERU en MOX hebben alle verschillende eigenschappen die van invloed zijn op de reactiviteitscoëfficiënten en andere relevante parameters.

De reactorkern moet na iedere bedrijfscyclus opnieuw beladen worden. Dit vindt plaats volgens een vooraf vastgesteld beladingsplan. Daarbij wordt een deel van de splijtstofelementen op andere plaatsen gezet en een deel ontladen en vervangen door nieuwe elementen.

De beladingsplannen worden voor elke cyclus opnieuw vastgesteld, waarbij rekening gehouden wordt met eventueel gewijzigde randvoorwaarden. Daarom moet voor aanvang van elke nieuwe bedrijfscyclus door middel van voor de betreffende reactorkern specifieke veiligheidsanalyses aangetoond worden dat de bovengenoemde doelen met betrekking tot het neutronenfysisch ontwerp van de kern gerealiseerd worden.

In het vervolg van deze paragraaf worden de voor het neutronenfysisch ontwerp van de kern belangrijke parameters besproken.

6.1.4.2 **Vermogensdichtheidsverdeling**

Afhankelijk van de lokale neutronenbalans ontstaat in de kern een vermogensdichtheidsverdeling. In radiale richting wordt deze in hoge mate door de gekozen rangschikking van de splijtstofelementen bepaald en in axiale richting hoofdzakelijk door de positie van de regelstaven.

Van bijzonder belang voor de veiligheid is de maximale waarde van de lokale vermogensdichtheid, die bepaalde limietwaarden niet mag overschrijden. Het behoort daarom tot de doelstellingen van het ontwerp om de maximale waarde van de lokale vermogensdichtheid in de reactorkern beneden deze limietwaarden te houden.

6.1.4.3 **Reactiviteitscoëfficiënten**

De reactiviteitscoëfficiënten beschrijven de veranderingen van de reactiviteit gerelateerd aan veranderingen van typische toestandparameters zoals koelmiddeltemperatuur, gehalte aan dampbellen, splijtstoftemperatuur, boriumconcentratie en positie van de regelstaven.

De koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt geeft de reactiviteitsverandering weer, gerelateerd aan de verandering van de hoofdkoelmiddeltemperatuur.

De reactorkern is ondergemodereerd ontworpen. Dat houdt in dat, bij afwezigheid van borium in het koelmiddel, een temperatuurverhoging met als gevolg een afname van de dichtheid van het koelmiddel, steeds tot een afname van de reactiviteit leidt. Dit resulteert in een negatieve koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt.

De reactiviteit van de reactorkern wordt mede beheerst door gebruik te maken van een in het koelmiddel opgeloste neutronenabsorber (borium). Een afname van de dichtheid van het koelmiddel (door een temperatuurverhoging) zal tevens tot een afname van de dichtheid van de neutronenabsorber in de kern leiden. Als gevolg daarvan kan de koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt bij een toenemende boriumconcentratie in de kern minder negatief, of aan het begin van een bedrijfscyclus bij laag vermogen, wanneer zich nog geen xenon gevormd heeft, zelfs enigszins positief worden.

De dampbelcoëfficiënt geeft de reactiviteitsverandering weer, gerelateerd aan de verandering van het gehalte aan dampbellen.

De bijdrage van de dampbelcoëfficiënt is tijdens normaal bedrijf te verwaarlozen. Het reactiviteitseffect van de dampbelcoëfficiënt kan echter zeer grote waarden bereiken bij een grote koelmiddellekkage. De dampbelcoëfficiënt is altijd negatief.

De splijstoftemperatuurcoëfficiënt (Doppler-coëfficiënt) geeft de reactiviteitsverandering weer, gerelateerd aan de verandering van de splijstoftemperatuur. Hij is altijd negatief en speelt een beslissende rol bij de stabiliteit en veiligheid. Elke vermogenstoename, met als gevolg een zeer snelle toename van de splijstoftemperatuur, levert daardoor direct een negatieve bijdrage aan de reactiviteitsbalans, waardoor het vermogen weer afneemt.

Bij nullastbedrijf zijn de koelmiddel- en splijstoftemperatuurcoëfficiënt gekoppeld. Daarom spreekt men ook wel van de isotherme koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt (ITC). Deze heeft de waarde van de som van de koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt en de splijstoftemperatuurcoëfficiënt. Bij storingen bij nullastbedrijf is deze ITC bepalend voor de zelfregelzaamheid (dat wil zeggen zonder de regelstaafregeling) van de reactor. Daarom wordt de reactor te allen tijde zo bedreven dat de ITC steeds negatief is. Teneinde gedurende bovengenoemde omstandigheden de ITC te kunnen meten is instrumentarium aanwezig. Tijdens vollastbedrijf (met Xe-evenwicht) wordt de boriumconcentratie zo ingesteld dat ook de koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt negatief is.

De reactiviteitscoëfficiënt van de boriumconcentratie (de werkzaamheid van het borium) geeft de reactiviteitsverandering weer gerelateerd aan de verandering van de boriumconcentratie. Bij toename van de boriumconcentratie neemt het vermogen van de reactor af, dat wil zeggen deze coëfficiënt is negatief.

De reactiviteitscoëfficiënt van de effectiviteit van de regelementen geeft de verandering van de reactiviteit weer, gerelateerd aan de verandering van de inschuifdiepte. Een toename van de inschuifdiepte resulteert in een afname van het vermogen, dat wil zeggen deze coëfficiënt is negatief.

6.1.4.4 **Reactorregeling**

Om de reactor op te kunnen starten en gedurende een bedrijfscyclus het volle vermogen te kunnen handhaven, is een zekere mate van overreactiviteit nodig. Ter compensatie van deze overreactiviteit, om een voldoende afschakelbetrouwbaarheid te garanderen en om

reactiviteitsveranderingen te regelen staan twee mogelijkheden ter beschikking: het inbrengen van de regelstaven en het verhogen van de boriumconcentratie.

Regelementen met absorbers bewerkstelligen snelle reactiviteitsveranderingen. Langzame reactiviteitsveranderingen worden door verandering van de boriumconcentratie tot stand gebracht.

6.1.4.5 Reactiviteit in afgeschakelde toestand en reactiviteitsbalans

Door de regelementen wordt voldoende onderkriticaliteitsmarge in afgeschakelde toestand gewaarborgd, hetgeen wil zeggen dat de reactor te allen tijde veilig kan worden afgeschakeld, zelfs onder de verzwarende omstandigheid dat het meest effectieve regelement in uitgetrokken toestand blijft steken (stuck rod).

De reactiviteitstoename die door het afschakelen en afkoelen van de reactor optreedt, wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de verlaging van de koelmiddel- en splijstoftemperatuur en het verval van xenon. Deze reactiviteitstoename wordt door de afschakelreactiviteit van de regelementen en van het opgeloste borium gecompenseerd.

Een voldoende afschakelbetrouwbaarheid is gewaarborgd, wanneer een waarde van de 'fictieve overreactiviteit bij nullast' van maximaal 3,5% wordt aangetoond.

6.1.4.6 Stabiliteit van de reactorkern

Een qua ruimte en tijd stabiele neutronenflux van de reactorkern is een belangrijke vereiste voor het veilig bedrijf van de installatie. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen de korte termijn (een tijdconstante van enkele seconden) en de lange termijn (een tijdconstante van enkele uren).

Uit analyses is gebleken dat instabiliteiten op korte termijn niet optreden vanwege de negatieve reactiviteitscoëfficiënten van de reactor. Schommelingen op lange termijn worden op grond van de geometrie van de reactor gedempt.

6.1.4.7 Kernbelading

Voor iedere kernbelading wordt een beladingsplan opgesteld en moet worden aangetoond, dat aan alle veiligheidseisen is voldaan. Dit bewijs wordt geleverd binnen het kader van de planning ten aanzien van de inzet van splijstofelementen. Van iedere op handen zijnde splijstofcyclus wordt aangetoond dat aan de veiligheidseisen wordt voldaan en daarom de veiligheid niet in gevaar komt.

Een belangrijke invloed op de parameters van het beladingsplan (zoals cyclusduur, verrijkingsgraad enzovoort) wordt uitgeoefend door de beladingsstrategie (het gekozen beladingspatroon). Er wordt onderscheid gemaakt tussen out-in- en in-out-belading. Bij de out-in-belading bevinden zich de verse splijstofelementen aan de rand van de kern en in de volgende cycli worden zij meer naar het midden van de kern verplaatst. In geval van de in-out-belading staan daarentegen juist de oudste splijstofelementen aan de rand van de kern.

De nieuwe splijstofelementen staan niet in de buitenste rij, maar iets meer naar binnen. Deze laatste beladingswijze wordt vanwege de geringe neutronenlekkage ook wel low-leakage-belading genoemd. Low-leakage-beladingen maken langere cycli mogelijk en vertonen een beter corrosiegedrag. Naast deze beide uitersten ten aanzien van de beladingsstrategie bestaat er nog

de gedeeltelijke low-leakage-belading. Hierbij worden zowel nieuwe splijtstofelementen als elementen met een langere standtijd aan de rand van de kern geplaatst.

Figuur 6.1.2/2 laat ter illustratie een karakteristiek beladingsplan met ENU-splijtstofelementen zien. Het stelt een low-leakage-belading voor, waarmee een natuurlijke cyclusduur van 314 dagen (100 % vermogen) gerealiseerd kan worden. Door verlaging van de koelmiddeltemperatuur is verlenging van de natuurlijke cyclus mogelijk bij een steeds lager vermogen (stretch-out bedrijf).

6.1.5 Thermohydraulisch ontwerp van de kern

6.1.5.1 Doelstelling

Het thermohydraulische kernontwerp omvat de berekening van de thermische en de hydraulische toestand van het hoofdkoelmiddel in de reactorkern. Door berekening van lokale koelmiddelsnelheden en enthalpieverdelingen in de reactorkern, samen met de vermogensdichtheidsverdelingen wordt aangetoond dat de warmte die in de splijtstofstaven ontstaat, op een veilige manier aan het koelmiddel wordt afgestaan.

Doel van het thermohydraulische ontwerp van de kern is, onder alle bedrijfsomstandigheden te verzekeren dat in de kern geen filmkoken kan ontstaan, omdat daardoor de warmteoverdracht naar het hoofdkoelmiddel verslechterd, met als mogelijk gevolg een te hoge splijtstoftemperatuur.

6.1.5.2 Thermohydraulische kernontwerp

Het thermohydraulisch gedrag van de kern wordt berekend aan de hand van een rekenmodel van het meest belaste koelkanaal (heet kanaal), en van een middelmatig belast koelkanaal, (normaal kanaal). Een koelkanaal wordt gevormd door de ruimte tussen vier nevenliggende splijtstofstaven.

Heetkanaalfactoren geven de relatie weer tussen een normaal kanaal en het heet kanaal. De heetkanaalfactoren F_Q voor de warmtebelastingen in de splijtstof en $F_{\Delta H}$ voor de opwarmmarge in het koelkanaal worden als volgt gedefinieerd:

$$\begin{aligned}
 - \quad F_Q &= (q'_{\max}/\bar{q}') = (q''_{\max}/\bar{q}'') = (q'''_{\max}/\bar{q}''') \\
 - \quad F_{\Delta H} &= (\Delta H_{\max}/\Delta \bar{H})
 \end{aligned}$$

Waarin

q'	= lineïek staafvermogen	[W/cm]
q''	= warmteflux	[W/cm ²]
q'''	= volumiek vermogen	[W/cm ³]
ΔH	= enthalpieverhoging	[kJ/kg]

De dwarsstreepjes betekenen gemiddelde waarden over de kern.

De heetkanaalfactor F_Q wordt gevormd door de vermogensdichtheidsverdeling in de reactorkern inclusief de lokale vermogenspieken, en de invloed van de fabricage- en verrijkingstoleranties van de splijtstoffabletten.

Bij de berekening van de heetkanaalfactor $F_{\Delta H}$ spelen talrijke individuele factoren een rol, die bijvoorbeeld de axiaal geïntegreerde nucleaire vermogensdichtheidsverdeling, ongelijkvormigheden in de koelmiddeldoorstroming of geometrische toleranties beschrijven.

Terwijl enkele van deze subfactoren door vermenging, dat wil zeggen dwarsstroming tussen subkanalen, kunnen worden verminderd, oefenen andere hun volle invloed uit op de enthalpieverhoging.

6.1.5.3 Ontwerpaspecten

Binnen het voorgenomen bedrijfsgebied van de reactor dienen het koelmiddeldebiet, de temperatuurverdelingen, de koelmiddeltemperatuur en de massastroomtransiënten (uitval van de hoofdkoelmiddelpompen) dusdanig bemeten te worden, dat in de kern geen belastingen voorkomen die de hulzen (spleetstofomhulling) ontoelaatbaar zouden kunnen beschadigen.

6.1.5.4 Kritieke filmkookgrens (DNB)

Wanneer de warmteflux aan het hulsoppervlak te hoge waarden bereikt, kan er een dampfilm ontstaan die de warmte-afvoer belemmert. De overgang van kiemkoken in filmkoken wordt met kritieke filmkookgrens of "Departure from Nucleate Boiling" (DNB), en de bijbehorende warmteflux met kritieke warmteflux (CHF) aangeduid. Filmkoken gaat gepaard met een duidelijke verslechtering van de warmte-overdracht en mag daarom tijdens normaal bedrijf niet plaatsvinden om beschadiging van de hulzen te voorkomen.

De verhouding tussen de kritieke en de optredende warmteflux wordt de DNB-verhouding genoemd. De minimale DNB-verhouding is een maatstaf voor de beveiliging tegen filmkoken.

Om tijdens het bedrijf vast te stellen of de minimale DNB-verhouding niet overschreden wordt, wordt als parameter voor de DNB-verhouding de grootte van het verschil tussen gemeten bedrijfsdruk en berekende verzadigingsdruk van het heetkanaal (de kookmarge) vastgesteld en met een minimale waarde vergeleken.

Bij transiënten gedurende normaal bedrijf worden installatiecondities die met het oog op de DNB ontoelaatbaar zijn, door het aanhouden van de vermogenslimietwaarde en de kookpuntlimietwaarde voorkomen.

Ook bij de ontwerptransiënt waarbij de hoofdkoelmiddelpompen uitvallen en met inachtneming van meettoleranties moet de mogelijkheid van filmkoken worden uitgesloten. Het thermohydraulische ontwerp gaat ervan uit, dat een voldoende beveiliging tegen filmkoken is gewaarborgd (DNB-verhouding $> 1,30$), wanneer bij vollastbedrijf $F_{\Delta H} \leq 1,80$ is.

6.1.6 Functioneel ontwerp van de reactiviteitscontrolesystemen

Het functioneren van het regelstaafstelsel wordt in paragraaf 6.2.8 beschreven.

De veiligheidsfunctie van het regelstaafstelsel is een snelle afschakeling van de reactor op betrouwbare wijze tot stand te brengen.

Daar de regelementen door stroomvoerende elektromagneten worden vastgehouden, geschiedt de snelle afschakeling van de reactor door de stroom te onderbreken waardoor de regelementen in de kern vallen door de werking van de zwaartekracht (fail-safe-principe).

De regelfunctie van het regelstaafstelsel is het veranderen van het reactorvermogen door in- of uitbewegen van de regelstaven. De mogelijkheid om de reactor door middel van het regelstaafstelsel te regelen, wordt niet beperkt wanneer een regelement tijdens een gewenste beweging komt vast te zitten. De vervormingen van de vermogensdichtheidsverdeling zijn in dat geval zeer gering.

De geschiktheid tot functioneren van de regelstaven wordt voortdurend bewaakt.

Om de reactiviteit te kunnen veranderen, heeft men naast het regelstaafstelsel de beschikking over de volgende systemen om borium toe te voeren: het volumeregelsysteem (TA), het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) en het primair reserve suppletiesysteem (TW). Bij storingen of ongevallen kunnen al deze systemen gecombineerd toegepast worden.

De bovenstaande systemen zijn gescheiden opgesteld en functioneren op verschillende wijzen. Zij zijn beschermd tegen invloeden van binnenuit, terwijl het primair reservesuppletiesysteem (TW) ook beschermd is tegen invloeden van buitenaf. Hierdoor is bereikt dat zij niet door dezelfde oorzaak allemaal tegelijk kunnen uitvallen (common cause-failure).

6.2 REACTORKOEL- EN DRUKHOUDSYSTEEM

6.2.1 Reactorkoel- en drukhoudsysteem

In de eerste paragraaf worden hoofdzakelijk de werking en de proces- en sterkte-technische uitgangspunten voor het ontwerp van het reactorkoel- en drukhoudsysteem beschreven.

In de navolgende paragrafen worden de componenten van het reactorkoel- en drukhoudsysteem behandeld en wordt ingegaan op de beproeving van deze componenten.

6.2.1.1 Beschrijving en ontwerp

Het primair systeem bestaat uit het reactorkoelsysteem en het drukhoudsysteem. Het reactorkoelsysteem dient om het vermogen, dat in de reactorkern door kernsplijting is geproduceerd, af te voeren en in de stoomgeneratoren aan de stoom/waterkringloop over te dragen.

Het drukhoudsysteem dient om het reactorkoelsysteem op de benodigde bedrijfsdruk te brengen, deze te handhaven en een ontoelaatbare drukstijging te voorkomen en om volumeveranderingen van het hoofdkoelmiddel op te vangen.

Het reactorkoelsysteem vormt met het drukhoudsysteem de primaire drukbegrenzing met lekdichte componenten en verbindingen tussen deze componenten, waardoor een barrière tegen het vrijkomen van radioactief materiaal wordt verkregen.

6.2.1.1.1 Functionele beschrijving

Het primair systeem heeft als functie het in de reactorkern geproduceerde vermogen af te voeren naar de stoom/waterkringloop van het secundair systeem. Hierbij dient de koeling van de kern te allen tijde gewaarborgd te zijn. Het systeem moet bestand zijn tegen de belastingen als gevolg van de temperaturen en drukken die op kunnen treden tijdens de verschillende bedrijfstoestanden zoals sterke vermogenswisselingen en snelle reactorafschakeling. Ook moet het systeem bestand zijn tegen de gevolgen van neutronenbestraling en de mogelijk optredende mechanische belastingen. De belangrijkste ontwerp- en bedrijfsgegevens van het primair systeem zijn vermeld in tabel 6.2.1/1.

Het reactorkoelsysteem bestaat in hoofdzaak uit (zie figuur 6.2.1/1):

- het reactorvat (YC);
- twee stoomgeneratoren (YB);
- twee hoofdkoelmiddelpompen (YD);
- de verbindende hoofdkoelmiddelleidingen (YA).

Het hoofdkoelmiddel wordt door de hoofdkoelmiddelpompen via twee inlaatstompen het reactorvat binnengeleid, stroomt in de ringvormige ruimte tussen de kernhouder en de wand van het reactorvat naar het onderste bolvormige gedeelte van het reactorvat en stroomt vervolgens naar boven door de reactorkern en verlaat het reactorvat via twee uitlaatstompen.

Van daar wordt het opgewarmde koelmiddel naar de beide stoomgeneratoren gevoerd. In de U-vormige stoomgeneratorpijpen wordt de warmte, die in de reactor en door de beide hoofdkoelmiddelpompen aan het hoofdkoelmiddel is afgegeven, onttrokken. Het afgekoelde hoofdkoelmiddel wordt vervolgens naar de hoofdkoelmiddelpompen geleid en opnieuw in het reactorvat gepompt.

Het drukhoudsysteem (YP) bestaat in hoofdzaak uit (zie figuur 6.2.1/1):

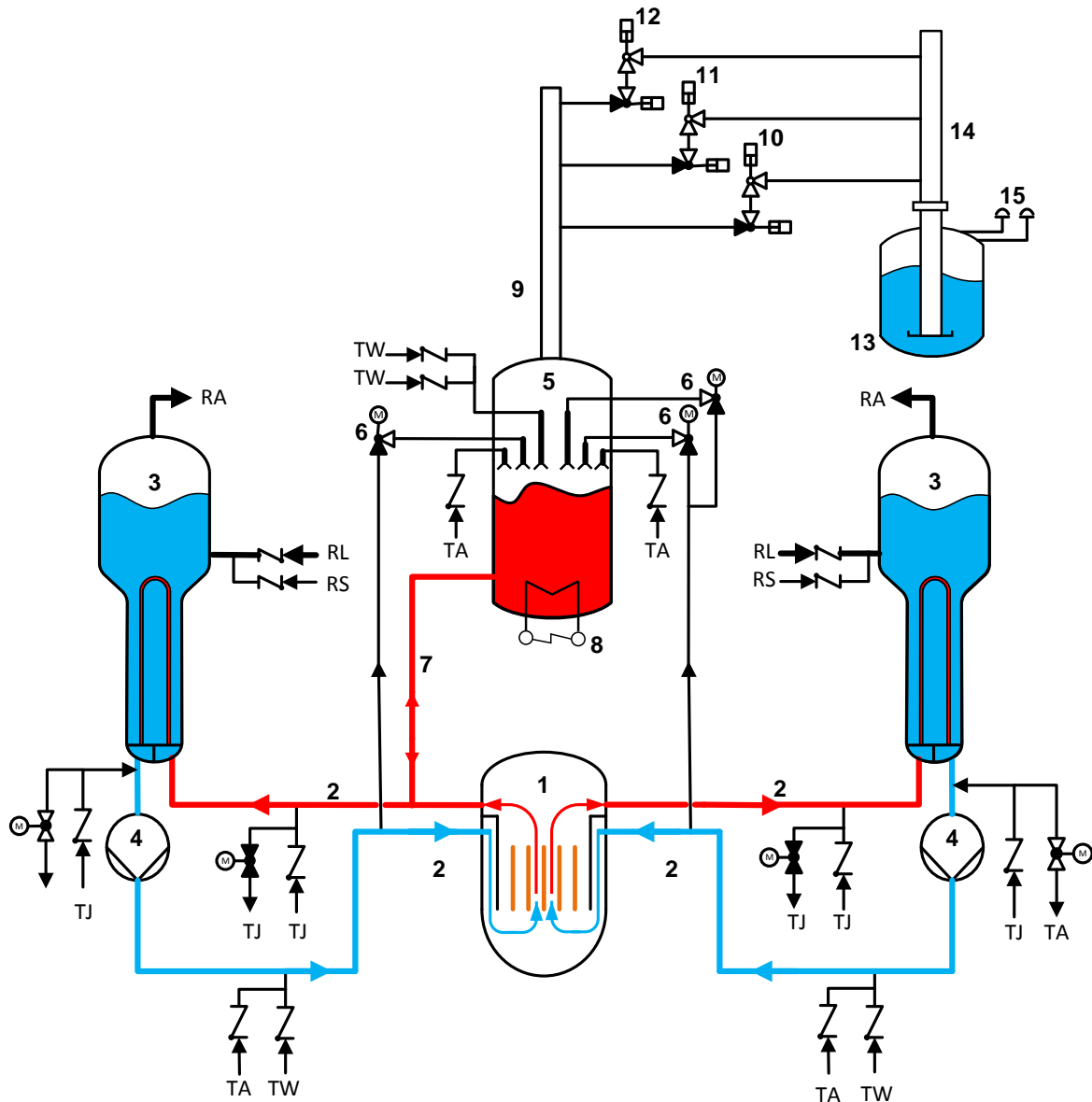
- de drukhouder met drukhouderdome, verwarming en volumevereffeningsleiding (surgeline);
- de sproeikleppen met sproeileidingen;
- de drie drukbeveiligingstoestellen;
- de afblaastank met afblaasdome, koelkringloop en hulpsystemen.

De drukhouder is tijdens normaal bedrijf voor circa 3/5 met water en voor de rest met stoom gevuld. Bij het op vermogen brengen van de installatie stijgt het niveau in de drukhouder aanvankelijk evenredig met de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur. In het belastingsgebied boven 38% van het nominaal vermogen wordt de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur en dus ook het niveau in de drukhouder constant gehouden. De volume-vereffeningsleiding verbindt de drukhouder met het warme been van één van beide koelkringlopen. Variaties in het koelmiddelvolume worden door de drukhouder opgenomen, respectievelijk gecompenseerd.

Vanaf de perszijde van één van beide hoofdkoelmiddelpompen ("koude been") leidt één sproeileiding met sproeiklepp naar één sproeier in de drukhouder. Van de perszijde van de andere hoofdkoelmiddelpomp leiden twee sproeileidingen met elk een sproeiklepp naar twee sproeiers in de drukhouder. Door continu een geringe hoeveelheid hoofdkoelmiddel door de sproeileidingen te laten stromen (zogenaamd continu sproeien) worden deze onderdelen op bedrijfstemperatuur gehouden en wordt tevens het hoofdkoelmiddel in de drukhouder voortdurend ververst en gemengd, waardoor de boriumconcentratie in de drukhouder gelijk blijft met die in de hoofdkoelmiddelkringloop.

In het met water gevulde gedeelte van de drukhouder bevindt zich de verwarming met verwarmingselementen. Met deze elektrische verwarming en de sproei-inrichting wordt de hoofdkoelmiddeldruk geregeld.

Bij een drukdaling wordt het hoofdkoelmiddel door inschakeling van de verwarming verdampt en de druk weer op de ingestelde waarde gebracht. Bij een drukstijging wordt een extra hoeveelheid hoofdkoelmiddel uit de koude benen van de hoofdkoelmiddelleidingen in de stoomruimte gespreid, waardoor stoom condenseert en de druk daalt. De verwarming, die trapsgewijs kan worden bijgeschakeld, is gedeeltelijk bedoeld om warmteverliezen, die altijd tijdens bedrijf optreden, op te vangen en om de drukdaling ten gevolge van het continu sproeien te compenseren.



1	Reactorvat	14	Afblaasdome
2	Hoofdkoelmiddelleiding	15	Breekplaten
3	Stoomgenerator	RA	HOOFSTOOMSYSTEEM
4	Hoofdkoelmiddelpomp	RL	HOOFD- EN NOODVOEDINGS- WATERSYSTEEM
5	Drukhouder	RS	SECUNDAIR RESERVESUPPLETIESYSTEEM
6	Sproeiventiel	TA	VOLUMEREGELSYSTEEM
7	Volumevereffeningsleiding	TJ	KERNINUNDATIE- EN NAKOELSYSTEEM
8	Verwarming	TW	PRIMAIR RESERVESUPPLETIESYSTEEM
9	Drukhouderdome		
10	1e drukbeveiligingstoestel		
11	2e drukbeveiligingstoestel		
12	3e drukbeveiligingstoestel		
13	Afblaastank		

Figuur 6.2.1/1 Reactorkoel- en drukhoudsysteem, - principeschema -

De drie veiligheidskleppen, elk in een zogenaamde tandemopstelling, voorkomen dat de druk in het reactorkoel- en drukhoudsysteem tot een ontoelaatbare waarde stijgt (zie figuur 6.2.1/2). Door toepassing van drie veiligheidskleppen wordt voldoende zekerheid gegeven dat, indien nodig, een klep opent. Als gevolg van de oplopende aanspreekdrukken van de veiligheidskleppen worden alleen meerdere kleppen tegelijkertijd geopend indien dit nodig is voor de drukbeheersing. Door de tandemopstelling wordt verzekerd dat een geopende veiligheidsklep, indien nodig, weer afgesloten kan worden.

De drie drukbeveiligingstoestellen zijn direct op de drukhouderdome gemonteerd. Zij zijn zowel voor het afvoeren van stoom als van onderkoeld water geschikt.

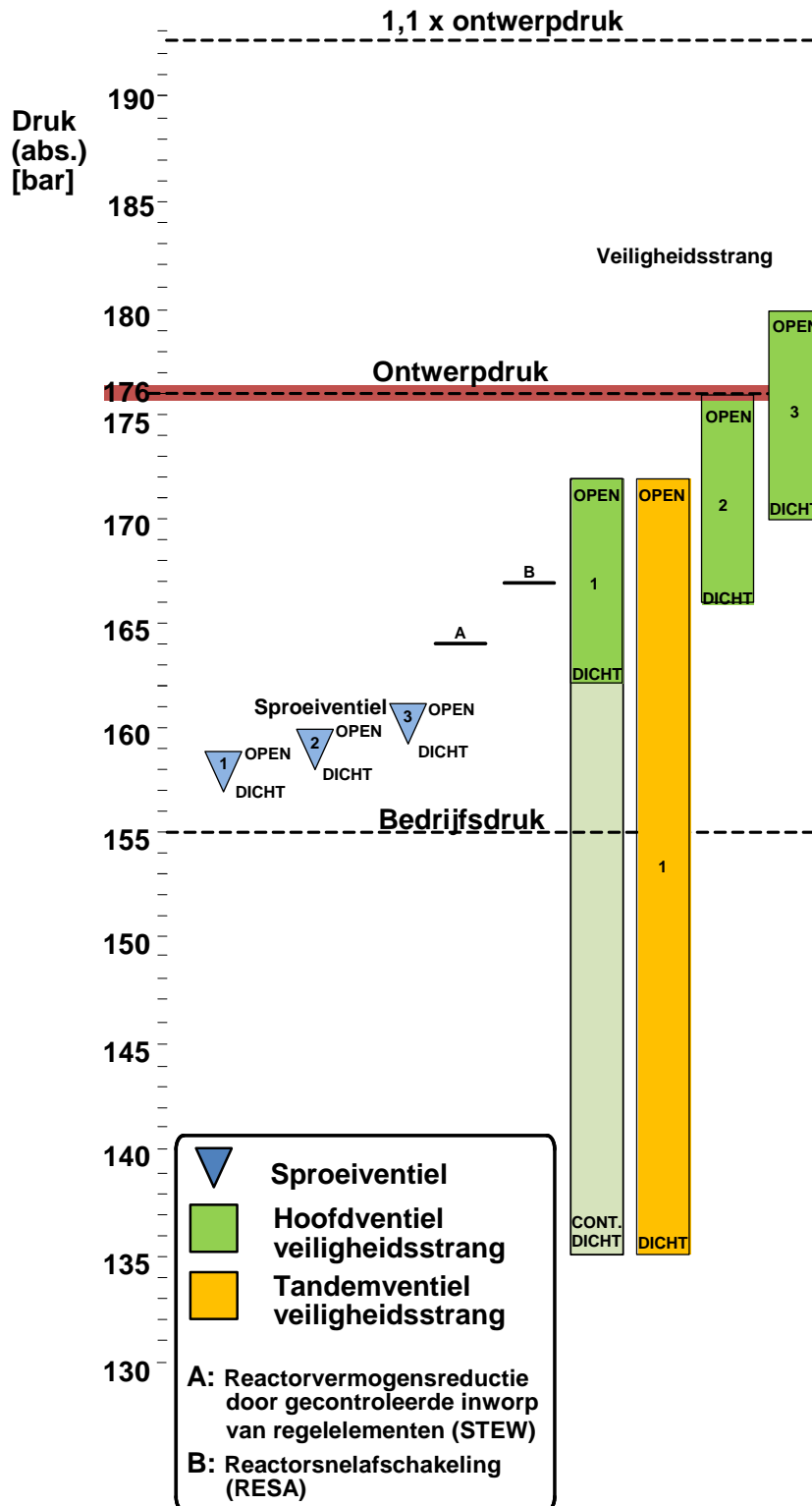
De veiligheidskleppen van het drukhoudstation zijn mediumgestuurd. Daarbij zijn de drie drukbeveiligingstoestellen zodanig uitgevoerd, dat de eerste strang volgens het arbeidsprincipe (actief, motorgestuurd) en de beide andere strangen volgens het rustprincipe (passief, veergestuurd) functioneren.

Door aansturing van het eerste drukbeveiligingstoestel met actieve stuurkleppen (motoraangedreven) kan de aanspreekdruk variabel worden ingesteld. Hierdoor kan met dit systeem de aanspreekdruk temperatuurafhankelijk worden verlaagd, bijvoorbeeld bij een koude installatie. Het eerste drukbeveiligingstoestel vervult daardoor ook een functie in de beveiliging tegen brosse breuk van het reactorvat ten gevolge van een geringere taaierheid van het materiaal bij lagere temperaturen.

Om drukontlasting van het primair systeem mogelijk te maken zijn in de stuurleidingen van de hoofd- en tandemklep van het 2^e en 3^e drukbeveiligingstoestel stuurkleppen ingebouwd.

Bij het 1^e drukbeveiligingstoestel wordt de primaire drukontlasting verzorgd door de tijdens normaal bedrijf gestuurde klep. Indien noodzakelijk kunnen alle drukbeveiligingstoestellen handmatig vanuit de regelzaal of de reserve-regelzaal bediend worden. De motorbediende regelstrangen worden door het noodstroomnet 2 gevoed. Vanaf de veiligheidskleppen leiden afblaasleidingen naar de afblaasdome. Deze leidingen komen via een verdeelsysteem onder water uit in de afblaastank.

Door middel van een ontgassingsleiding wordt verhinderd dat niet-condenseerbare gassen in de veiligheidskleppen komen. Hierbij wordt de afgevoerde stoom naar de afblaastank geleid, waar hij condenseert. De afblaastank is door middel van breekplaten tegen te hoge druk beveiligd. Na het aanspreken van de breekplaten vindt drukontlasting naar de veiligheidsomhulling plaats.



Figuur 6.2.1/2 Drukstaffeling van het reactorkoelsysteem

6.2.1.1.2 Procestechnische uitgangspunten voor het ontwerp

Randvoorwaarden voor het ontwerp

Het warmtetechnische ontwerp van de kern is erop gericht te garanderen dat bij normaal bedrijf van de reactor geen materiaaltechnische grenswaarden worden bereikt waarbij beschadiging van de splijststofhulzen zou kunnen optreden.

Het warmtetechnisch ontwerp van het reactorkoelsysteem wordt bepaald door de beveiliging tegen filmkoken aan de splijststofstaven. De vereiste marge ten opzichte van filmkoken bij een bepaalde gemiddelde warmteflux is maatgevend voor het koelmiddeldebiet, de koelmiddelinaattemperatuur en de koelmiddeldruk. De grootte van de stoomgeneratoren (oppervlak ten behoeve van de warmteoverdracht) en de capaciteit van de hoofdkoelmiddelpompen zijn overeenkomstig deze eisen ontworpen.

Het reactorkoel- en drukhoudsysteem met de bijbehorende installatiedelen zijn zodanig gedimensioneerd, dat ze bestand zijn tegen de temperaturen en drukken die zowel bij stationaire als bij niet-stationaire bedrijfscondities optreden. Daartoe behoren zowel het verwarmen en afkoelen van het reactorkoelsysteem, alsmede sterke belastingwisselingen tijdens bedrijf, zoals lastafschakeling en snelle turbine- en reactorafschakeling.

Zoals gebruikelijk voor nucleaire installaties dient men zich voor het ontwerp van de drukbeveiligingstoestellen en de drukhouder mede te baseren op de ongevalscondities en in het bijzonder op de onderstaande ongevalscombinatie, omdat die tot de maximale volume-vergroting van het hoofdkoelmiddel in het reactorkoel- en drukhoudsysteem leidt:

Snelle turbine-afschakeling vanuit vollast, met

- uitval van de turbine-omloop;
- uitval van de regelstaaf-inworpschakeling (reactorvermogen-reductie door gecontroleerde inworp van regelementen);
- uitval van de hoofdstoomafblaasregelkleppen;
- uitblijven van actie op het eerste criterium voor snelle afschakeling.

Hierbij wordt het eerste drukbeveiligingstoestel van de drukhouder aangesproken.

Het tweede respectievelijk derde drukbeveiligingstoestel spreken pas aan, als nog meer uitvalsaannames van toepassing zijn. Wanneer bijvoorbeeld de reactorafschakeling door het systeem voor snelle afschakeling niet werkt (ATWS), kunnen de veiligheidskleppen van het tweede en het derde drukbeveiligingstoestel ook aanspreken. De maximaal toelaatbare druk bij transiënten ten gevolge van storingen van 1,1 maal de ontwerpdruk wordt echter niet overschreden. Dit houdt in dat de maximaal toelaatbare druk bij gebeurtenissen met geringe waarschijnlijkheid van optreden, zoals ATWS (1,3 maal de ontwerpdruk, vanwege de geringe kans van optreden) zeker niet wordt overschreden.

Het openen en sluiten van de hoofd- en tandemklep van een drukbeveiligingstoestel geschiedt in drukstappen. De hoofdklep van het eerste drukbeveiligingstoestel gaat bij 172 bar open en sluit weer bij 162 bar, terwijl de tandemklep pas sluit als de systeemdruk tot 135 bar is gedaald, bijvoorbeeld omdat de hoofdklep door een defect is opengebleven. Deze tandemklep voorkomt dus een ongeval met hoofdkoelmiddelverlies, indien de aangesproken hoofdklep - om welke reden dan ook - niet meer sluit. De tandemklep is echter ook in staat de verdere drukbeveiliging van het primaire systeem over te nemen. Dit houdt in dat als bij een dergelijk ongeval (hoofdklep van het eerste drukbeveiligingstoestel opengebleven) waarbij het vermogen van de installatie wordt verminderd, de druk opnieuw tot 172 bar stijgt, de tweede tandemklep opent en geopend blijft, totdat de systeemdruk tot 135 bar is gedaald. Bij bedrijfsdruk staan de drie tandemkleppen normaal in de stand "open". Het principe van de drukstaffeling van de 3 drukbeveiligingstoestellen is weergegeven in figuur 6.2.1/2.

Belangrijke parameters

Bedrijfsgegevens zoals bedrijfsdruk, koelmiddelintretemperatuur en koelmiddeldebiet worden bepaald door de randvoorwaarden voor het warmtetechnisch ontwerp ter voorkoming van filmkoken.

De belangrijkste ontwerp- en bedrijfsgegevens zijn in tabel 6.2.1/1 vermeld.

Tabel 6.2.1/1 Reactorkoelsysteem met indicatieve gegevens

Thermisch reactorvermogen	1365,6	MW
Vermogensoverdracht in de stoomgeneratoren	1370	MW
Totaal koelmiddeldebiet (ontwerp van de pompen)	10000	kg/s
Bedrijfsdruk	155	bar
Koelmiddelintretemperatuur van het reactorvat (vullast)	292,5	°C
Koelmiddeluitretemperatuur van het reactorvat (vullast)	317,5	°C
Opwarmmarge (vullast)	25	°C
Watervolume (vullast, inclusief watervolume van de drukhouder)	190	m ³
Capaciteit per drukbeveiligingstoestel (stoom of water bij 172 bar overdruk)	33,3	kg/s

Gedrag bij deellast

Het zogenaamde stationair deellastdiagram geeft het verloop van de druk en de temperatuur aan primaire en secundaire zijde weer als functie van het vermogen. Het stationair deellastdiagram bestaat uit een gedeelte met constante hoofdstoomdruk (onderste vermogensgebied) en een gedeelte met een constante, gemiddelde koelmiddeltemperatuur (bovenste vermogensgebied).

Bij de bepaling van het deellastdiagram moet rekening worden gehouden met de volgende fysische samenhang:

- om het thermisch rendement tijdens bedrijf met nominale belasting te verbeteren, vindt de warmte-overdracht in de stoomgenerator bij de hoogst mogelijke temperatuur plaats. Deze temperatuur wordt begrensd door het bovengenoemde warmtetechnisch ontwerp ter voorkoming van filmkoken aan de oppervlakte van de splijtstofstaven;
- met het oog op een grote belastingsflexibiliteit moet de gemiddelde koelmiddeltemperatuur in het bovenste vermogensgebied constant worden gehouden. Hierdoor worden in het reactorkoelsysteem grote variaties in de soortelijke massa van het hoofdkoelmiddel voorkomen.

Het niveau in de drukhouder en de koelmiddeldruk blijven zodoende ook bij grote en snelle belastingvariaties in hoge mate constant.

Bovendien biedt een constante gemiddelde koelmiddeltemperatuur vanuit het gezichtspunt van de neutronenfysica het voordeel, dat na vermogensveranderingen geen bijkomende reactiviteitsinvloeden door de negatieve koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt behoeven te

worden gecompenseerd (bijvoorbeeld door het inschuiven of uittrekken van de regelementen).

Opstelling van het reactorcool- en drukhoudsysteem

De stoomgeneratoren zijn ten opzichte van het reactorvat hoger opgesteld, om een natuurlijke circulatie te garanderen als de hoofdkoelmiddelpompen niet beschikbaar zijn. Zodoende wordt gegarandeerd dat de restwarmte naar de secundaire zijde kan worden afgevoerd.

6.2.1.1.3 **Sterktetechnische uitgangspunten voor het ontwerp**

Belastingen

Bij de sterkteberekening van de componenten voor het primair systeem is rekening gehouden met de volgende belastingen:

- belastingen door ingebouwde componenten;
- belastingen door eigen gewicht;
- mechanische uitwendige belastingen;
- stationaire en niet-stationaire belastingen van de componenten tengevolge van inwendige druk;
- stationaire en niet-stationaire temperatuurspanningen;
- belastingen door lekkages;
- belastingen ten gevolge van aardbevingen.

Bij het ontwerp van het reactorvat is bovendien rekening gehouden met de verandering van de materiaaleigenschappen tengevolge van neutronenbestraling. Dit is gedaan op basis van een breukmechanische analyse. Aanvankelijk is deze analyse voor een bedrijfsduur van veertig jaar uitgevoerd. Later is deze analyse, uitgaande van de laatste stand der techniek, herhaald voor een bedrijfsduur van zestig jaar.

Berekeningsmethode

De sterkteberekening van de componenten, die volgens de Stoomwezen Grondslagen en ASME Section III alsmede volgens KTA of RCCM is uitgevoerd, omvat:

- de dimensionering van de componenten;
- de elasticiteitsberekening en spanningsanalyse;
- de vermoeiingsanalyse.

Bedrijfsveiligheid van het reactorvat

De veiligheid van het reactorvat wordt door onderstaande maatregelen gegarandeerd:

- nauwkeurige analyse van de bedrijfsbelastingen en conservatieve begrenzing van de toelaatbare spanningen;
- begrenzing van de hoofdkoelmiddeldruk;
- toepassing van materialen met goede eigenschappen ten aanzien van de taaiheid;
- gekwalificeerde fabricagemethoden;
- kwaliteitsborging tijdens de fabricage en meervoudige beproeving;
- niet-destructief onderzoek tijdens de fabricage;
- drukproef bij 1,3 maal de ontwerpdruk;
- bepaling vooraf, tijdens bedrijf en door middel van ingehangen proefstukken, van de brosheid van het materiaal als gevolg van de inwerking van neutronenstraling;
- periodiek niet-destructief onderzoek van het vat;
- periodieke drukproeven.

Bij een toenemende bedrijfsduur en de daarmee gepaard gaande neutronenbestraling, veranderen de materiaaleigenschappen. Zo neemt de gevoeligheid voor brosse breuk onder invloed van neutronenbestraling toe. Om het gedrag ten aanzien van brosse breuk op lange termijn van de voor

het reactorvat toegepaste materialen onder invloed van de neutronenbestraling te voorspellen, is reeds ten tijde van de bouw een omvangrijk bestralingsprogramma opgesteld en uitgevoerd. Hiermee is voorafgaand aan de bedrijfsvoering een prognose over het materiaalgedrag gemaakt. Uitgaande van dit programma zijn de gevolgen van de neutronenbestraling gedurende 40 bedrijfsjaren voor het materiaal geëxtrapoleerd.

In 1985 is aan de hand van de testresultaten van ingehangen proefstukken de invloed op het materiaalgedrag experimenteel bepaald. Daarbij is gebleken dat de vooraf bepaalde extrapolatiewaarden conservatief zijn, en het materiaalgedrag dus gunstiger is dan van te voren was vastgesteld.

In 2009 is het gedrag ten aanzien van brosse breuk voor het reactorvat opnieuw beoordeeld. Hierbij zijn de invloeden van de wijziging van de kernbeladingsstrategie, de mogelijke inzet van MOX splijtstofelementen en de verbeterde inzichten en berekeningsmethoden voor wat betreft het brosse breuk gedrag meegenomen. De nieuwe beoordeling heeft aangetoond dat ook voor zestig jaar bedrijfsduur ruime veiligheidsmarges ten aanzien van het brosse gedrag voor het reactorvat bestaan.

Om tijdens de in- en uitbedrijfname een ontoelaatbare wijze van bedrijfsvoering te voorkomen, is in het reactorbeveiligingssysteem (YZ) een beveiliging tegen brosse breuk opgenomen door drukbegrenzing bij lagere temperaturen. Hierdoor wordt voorkomen dat de combinatie van de druk en de temperatuur ontoelaatbare waarden bereikt.

Voordat bij een bepaalde koelmiddeltemperatuur een ontoelaatbare druk wordt bereikt, worden automatisch tegenmaatregelen genomen om de druk te ontlasten. Zo wordt bijvoorbeeld de verwarming van de drukhouder uitgeschakeld. Zonodig vindt bovendien drukontlasting via het eerste drukbeveiligingstoestel van de drukhouder plaats.

Naast de bovenomschreven maatregelen voor analyse van de normale bedrijfsvoering van de installatie, zijn ook mogelijke fouten ter beoordeling van onderkoelingstransiënten bij ongevallen met koelmiddelverlies in beschouwing genomen. Door middel van thermohydraulische analyses is het verwachte druk- en temperatuurverloop aan de reactorvatwand tijdens de transiënt bepaald en zijn de daaruit voortvloeiende spanningsintensiteitsfactoren berekend. Uit de resultaten volgt dat een begin van scheurvorming niet op zal treden.

6.2.1.1.4 **Afdichtingsvoorzieningen en controle op lekkage**

Het reactorkoelsysteem is waar mogelijk voorzien van gelaste verbindingen. Een uitzondering hierop vormen:

- de dubbele O-ringafdichting van het reactorvatdeksel;
- de assen van de hoofdkoelmiddelpompen met hun afdichtingssysteem;
- de regelstaafaandrijvingen en de doorvoering voor instrumentatielansen;
- man- en handgaten in de componenten;
- diverse flensverbindingen, bijvoorbeeld van drukbeveiligingstoestellen.

Controle op lekkage bij het reactorvatdeksel

Het deksel van het reactorvat wordt met behulp van opsluitbouten op het onderstuk van het reactorvat gedrukt. Twee metalen O-ringen, die tussen de flensvlakken van het onderstuk en het deksel zijn aangebracht, zorgen voor de afdichting. De juiste werking van de binnenste O-ring wordt bewaakt. Indien de werking verslechtert, wordt het uittredende stoom/watermengsel via een opening uit de ruimte tussen de binnenste en de buitenste O-ring afgevoerd en naar een meetbuis geleid, die is voorzien van een op afstand afleesbare niveaumeting. Tijdens bedrijf kan lekkage van de

flensverbinding van het reactorvatdeksel en het reactorvat op deze wijze voortdurend worden gecontroleerd.

Controle op lekkage van het reactorkoelsysteem

Om het principe van "lek vóór breuk", dat voor het primair systeem is aangenomen, te kunnen waarmaken, zijn er voorzieningen om mogelijk geringe lekkages aan componenten en pijpleidingen te onderkennen en voldoende nauwkeurig te lokaliseren aangebracht. De gebruikte methoden voor het vaststellen van geringe lekkages zijn:

- meting van het gevormde condensaat;
- activiteitsmeting.

Meting van het gevormde condensaat

De lucht in de installatieruimte (ruimte waarin het primair systeem is opgesteld) wordt door het nucleaire ventilatiesysteem (TL) voortdurend gecirculeerd en gekoeld (zie paragraaf 6.3.2). De bij de koeling van de lucht condenserende waterdamp wordt per ventilatiestrang in een klein meetvat verzameld. Het wateraanbod in deze meetvaten wordt periodiek visueel gecontroleerd. Bovendien worden de grenswaarden van het waterniveau in de meetvaten bewaakt vanuit de regelzaal. Een verhoogde condensaatvorming kan zo snel worden vastgesteld en kan dienen als indicatie voor een mogelijke lekkage.

Activiteitsmeting

De installatieruimte in het reactorgebouw wordt door afzuiging van een bepaalde hoeveelheid lucht ten opzichte van de bedrijfsruimte op een geringe onderdruk gehouden. De afgezogen lucht wordt continu op radioactiviteit bewaakt.

Een stijging van de activiteit in de lucht van de installatieruimte kan zo geconstateerd worden en een indicatie voor lekkage van het primair systeem vormen.

6.2.1.1.5 Opstelling en afsteuning van de componenten

De componenten (reactorvat, stoomgeneratoren, hoofdkoelmiddelpompen en drukhouder) zijn zodanig afgesteund, dat de reactiekrachten als gevolg van het bij lekkages uitstromende medium op de gebouwconstructie kunnen worden overgedragen.

In het concept van de ondersteuningsconstructies voor de componenten van het reactorkoelsysteem is het reactorvat het vaste punt. De aangesloten hoofdkoelmiddelleidingen zijn kort gehouden en dragen de thermische uitzettingen van het systeem over op de stoomgeneratoren en hoofdkoelmiddelpompen, die horizontaal beweegbaar zijn opgehangen.

De ondersteuningsconstructies hebben ten doel:

- het reactorvat in het gebouw te centreren;
- de horizontale beweging van stoomgeneratoren en hoofdkoelmiddelpompen mogelijk te maken;
- de bedrijfsbelastingen alsmede de belastingen tengevolge van aardbevingen, en de op de componenten uitgeoefende belastingen door lekkages van aansluitende leidingen (hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomleidingen) op de gebouwconstructie over te dragen.

Afsteuning van het reactorvat

Het reactorvat rust met vier aangelaste steunen op een draagring en wordt daar in de middenpositie gefixeerd. In de steunpunten worden de steunen radiaal geleid, waardoor de thermische uitzetting van het vat niet wordt belemmerd.

Afsteuning van een stoomgenerator

Een stoomgenerator is horizontaal vrij beweegbaar met behulp van drie hangers aan een stalen ondersteuningsconstructie opgehangen en kan daardoor de thermische uitzetting van de hoofdkoelmiddelleiding spanningsvrij volgen.

De hangers nemen de verticale krachten van de drie steunen, die ter hoogte van de pijpplaat van de stoomgenerator zijn gelast, op en dragen deze over op de stalen ondersteuningsconstructie.

Afsteuning van een hoofdkoelmiddelpomp

Een hoofdkoelmiddelpomp is horizontaal vrij beweegbaar met behulp van vier hangers aan een stalen ondersteuningsconstructie opgehangen en kan de thermische uitzetting van de hoofdkoelmiddelleiding ongehinderd volgen.

De hangers nemen de verticale krachten van de vier steunen, die aan het pomphuis zijn gelast, op en dragen deze over op de stalen ondersteuningsconstructie.

Afsteuning van de drukhouder

De drukhouder vormt het vaste punt voor de aansluitende, elastisch gelegde pijpleidingen en is op twee niveaus afgesteund tezamen met een anti-rotatiebelemmering.

In het benedengedeelte zijn drie draagsteunen aangebracht, die met trekankers op het draagvlak rusten. Ze zorgen voor de overdracht van de verticale krachten en gedeeltelijk van de horizontale krachten.

Aan het bovengedeelte van de cilindrische mantel zijn vier steunen voor het overbrengen van de belastingen ten gevolge van ongevallen met koelmiddelverlies aangebracht. Krachten worden via deze steunen en bijbehorende draagbeugel op de gebouwconstructie overgedragen.

6.2.1.2 **Beproevingen**

6.2.1.2.1 **Materiaal-, tussentijdse en drukbeproevingen**

Het reactorkoelsysteem is zodanig ontworpen, dat het gedurende de totale levensduur van de kernenergiecentrale inzetbaar blijft. Om die reden zijn de keuze van geschikte materialen, de materiaalbeproeving, een zorgvuldige fabricagevoorbereiding, de fabricage evenals de bijbehorende fabricagecontrole en tussentijdse beproeving van het grootste belang. Met het oog hierop zijn alle componenten van het primair systeem gelijkwaardig behandeld. De eisen en voorschriften zijn voor de afzonderlijke componenten in componentenspecificaties opgenomen. Door deze specificaties is een zorgvuldig fabricageproces gegarandeerd.

Materiaalkeuze

Bij de materiaalkeuze is rekening gehouden met de volgende eisen:

- voldoende mechanische eigenschappen (treksterkte, rekgrens, kerfslagwaarde, breukrek, taaiheid) bij bedrijfs- en omgevingstemperatuur;
- goede veredelingsmogelijkheden bij de vereiste wanddiktes;
- goede lasbaarheid;
- geringe brosheid als gevolg van neutronenbestraling voor materialen in de kernzone;
- bestendigheid tegen corrosie onder invloed van het hoofdkoelmiddel.

Fabricage en fabricagecontrole

De complete fabricage, vanaf de fabricage van de halffabrikaten, is volgens vooraf opgestelde en gecontroleerde documenten uitgevoerd. Het centrale fabricagedocument is de componentenspecificatie, waarin ook alle stappen van de beproeving zijn beschreven. Andere documenten die als uitgangspunt voor de uitvoering van de werkzaamheden dienen zijn

constructietekeningen, materiaalspecificaties, lasspecificaties, gloeispecificaties en specificaties voor tussentijdse beproeving.

De materiaalspecificatie en de specificatie voor tussentijdse beproeving vormen eveneens de basis voor de documentatie waarin de resultaten van de beproevingen en controles zijn opgenomen. Tijdens de fabricage is door middel van begeleidende fabricagecontrole gegarandeerd, dat de beproevingen vakkundig zijn uitgevoerd. Voor de gehanteerde kwaliteitsborging bij de fabricage van de componenten wordt verwezen naar paragraaf 3.3.2.

Beproevingen

Met de beproevingen is aangetoond, dat de halffabrikaten respectievelijk componenten aan de gestelde eisen voldoen. Omvang en tijdstip evenals de bij de uitvoering in acht te nemen voorschriften zijn vastgelegd in materiaalspecificaties en specificaties voor tussentijdse beproeving.

In het volgende worden de beproevingen aan de hand van het voorbeeld van de gesmede ringen voor het reactorvat beschreven.

De chemische samenstelling is niet alleen door middel van een smeltanalyse, maar ook door controle-analyses van de complete, gesmede delen gecontroleerd.

Destructief onderzoek van de gesmede ringen

De monsters voor mechanische beproeving zijn na het veredelingsproces genomen. Bij ringen die tijdens het verdere verwerkingsproces nog meermaals zijn gegloeid, is de mechanische beproeving na twee typen warmtebehandelingsmethoden uitgevoerd:

- simulerend gegloeid.
Hierbij is het proefstuk aan een aantal gloeibehandelingen onderworpen, waarmee de na het productieproces te verwachten gloeibehandelingen door een aantal extra gloeibehandelingen voor eventueel noodzakelijke reparaties zijn gesimuleerd. Door deze beproeving beschikte men reeds bij de aanvang van de productie over de waarden, die in gereede toestand konden worden verwacht;
- gloeien in eindtoestand.
Het hiervoor bestemde proefmateriaal is bij het desbetreffende werkstuk gevoegd en aan alle warmtebehandelingen onderworpen. Na de laatste gloeibehandeling is de afnamebeproeving als eindafname uitgevoerd.

Na deze gloeibehandelingen is van de afzonderlijke monsters het volgende bepaald:

- treksterkte en rekgrens, rek en taaiheid bij omgevings- en ontwerp temperatuur;
- kerfslagwaarde (inclusief overgangstemperatuurgrafieken);
- gedrag bij brosse breuk op basis van Pellini-proeven;
- korrelgrootte en structuur.

Van elke gesmede ring zijn in overeenstemming met de componentenspecificatie monsters genomen. De gelijkmatigheid van de verdeling is door over de omtrek verdeelde hardheidsproeven door middel van micro-etsen en destructief onderzoek aan de monsters aangetoond.

De monsternamen waren zodanig, dat de bij het destructief onderzoek vastgestelde waarden representatief waren voor het complete halffabrikaat.

Niet-destructief onderzoek van de gesmede ringen

Aan de gesmede ringen is een volledig onderzoek naar oppervlaktescheuren uitgevoerd. Alle werkstukken zijn bovendien aan een compleet ultrasoon onderzoek onderworpen.

Persproef

Bij de persproef zijn tenslotte door middel van rekmetingen aan de binnen- en buitenwand van het reactorvat de belastingen gemeten die op zwaarstbelaste plaatsen optreden.

6.2.1.2.2 Periodieke beproevingen van de componenten van het reactorcool-systeem

Doel van het periodiek niet-destructief onderzoek

Het hoofddoel van het periodiek niet-destructief onderzoek is aan te tonen, dat de tijdens de bouw van de installatie bereikte veiligheidstoestand gehandhaafd blijft.

Daarnaast wordt het niet-destructieve onderzoek aan de componenten van het reactorcool-systeem uitgevoerd om de geldigheid van het ontwerp-principe van "lek voor breuk" (zie paragraaf 5.1.4) te handhaven.

Na de inbedrijfstelling van de reactor worden de componenten van het reactorcool-systeem aan regelmatig terugkerende proeven onderworpen. De periodieke beproevingen van de componenten geschieden door middel van een inservice inspectie en persprogramma op basis van ASME section XI, aangevuld met eisen van de Dienst Stoomwezen. Dit programma geeft aan welke componenten periodiek beproefd moeten worden, hoe deze beproeving moet plaatsvinden en met welke frequentie.

De resultaten van het in het kader van de fabricage en montage uitgevoerde niet-destructieve onderzoek worden tijdens het periodiek niet-destructief onderzoek als vergelijkingsmateriaal gebruikt.

In beproevingszones, waarin tijdens het periodiek niet-destructief onderzoek op afstand bediende testapparatuur wordt gebruikt, is voor de inbedrijfstelling een referentieproef uitgevoerd om latere testresultaten te kunnen vergelijken.

Voorzieningen voor de uitvoerbaarheid van het periodiek niet-destructief onderzoek

Deze voorzieningen zijn bedoeld om het periodiek niet-destructief onderzoek snel en vlekkeloos te kunnen uitvoeren en daarmee de stralingsbelasting van het beproevingspersoneel zo veel als mogelijk te beperken.

Dit is onder andere bereikt door:

- gebruik te maken van voor beproeving geschikte oppervlakken van componenten in de beproevingszones;
- een voldoende groot aantal man-, hand- en kijkgaten in de componenten voor inwendige inspectie;
- een warmte-isolatie van de te beproeven zones die snel kan worden gedemonteerd en gemonteerd;
- een goede toegankelijkheid van de componenten;
- toepassing van op afstand bediende testapparatuur op plaatsen met een hoog dosistempo.

Soorten beproevingen en testmethoden bij het periodiek niet-destructief onderzoek

Volumebeproeving

Het ultrasoon onderzoek wordt met de hand of, op plaatsen met een hoog dosistempo, mechanisch met behulp van op afstand bediende verplaatsing van de taster en automatische registratie van de meetwaarden verricht.

Het ultrasoon onderzoek wordt zowel bij de volumebeproeving als bij het onderzoek naar fouten in of dicht aan het oppervlak toegepast. Daarbij worden de meetrichtingen zodanig gekozen, dat uit veiligheidstechnisch oogpunt belangrijke fouten en de mogelijke ligging ervan goed kunnen worden herkend. Hiertoe behoren:

- vlakken loodrecht op de hoofdspansingsrichtingen;
- vlakken parallel aan de smeltvlakken van lasnaden (fouten in langsrichting);
- vlakken loodrecht op de richting van lasnaden (fouten in dwarsrichting).

Om fouten voldoende te kunnen herkennen, worden tasters met verschillende meetrichtingen gebruikt.

Wervelstroomonderzoek vindt plaats aan dunwandige componenten van niet-ferromagnetische materialen. Deze methode wordt toegepast voor de beproeving van U-pijpen van stoomgeneratoren, zodat fouten aan de binnen- en buitenzijde van de pijpen evenals materiaalslijtage en afzettingen aan secundaire zijde kunnen worden opgespoord.

Op plaatsen met een hoog dosistempo wordt het onderzoek mechanisch uitgevoerd met behulp van op afstand bediende verplaatsing van de sonde en automatische registratie van de meetwaarden.

Opsporen van fouten in of dicht aan de oppervlakte

Bij magnetisch scheuronderzoek wordt aan direct registrerende methoden van scheuronderzoek (magnetisch onderzoek) de voorkeur gegeven. Daarmee kunnen scheurtjes van het materiaal in of dicht aan de oppervlakte worden opgespoord, die zich loodrecht of bijna loodrecht op de veldrichting bevinden en in vergelijking met de lengte en diepte een geringe breedte hebben.

Methoden van magnetisch scheuronderzoek kunnen uitsluitend op ferromagnetische materialen worden toegepast.

Met penetrant onderzoek kunnen scheurtjes aan de oppervlakte van alle materialen worden opgespoord.

De toepassing van beide bovengenoemde methoden beperkt zich tot direct toegankelijke oppervlakken.

Voor ultrasoon onderzoek van oppervlakken en zones dicht aan de oppervlakte worden speciale technieken toegepast waarbij gebruik wordt gemaakt van oppervlakte- of kruipgolven, de zender/ontvanger-techniek met drukgolven (SEL-techniek), of van het hoekeffect.

Ook wervelstroomonderzoek wordt toegepast voor de beproeving van oppervlakken en zones dicht aan de oppervlakte (bijvoorbeeld schacht en schroefdraad van draadeinden).

Visuele inspectie

Visuele inspecties worden zonder optische hulpmiddelen uitgevoerd aan direct toegankelijke zones en met optische hulpmiddelen eveneens aan moeilijk toegankelijke of ondergedompelde zones.

De visuele inspecties dienen enerzijds om de algemene toestand van componenten te beoordelen en anderzijds om bepaalde zones van componenten gericht te onderzoeken op:

- sporen van lekkages;
- mechanische beschadigingen;
- loszitten van boutverbindingen;
- toestand van aansluitingen van meetplaatsen en -leidingen;
- lagering van componenten;
- afzetting van vreemde stoffen;
- oppervlakteveranderingen.

Lektesten

Deze dienen voor het opsporen van lekkages in het primair systeem en worden telkens bij het koud opstarten van de reactorinstallatie uitgevoerd.

Persproeven

Persproeven zijn belastingsproeven. Ze worden bij een hogere druk dan de toelaatbare bedrijfsvoerdrak uitgevoerd. Met persproeven wordt gegarandeerd dat zich in het materiaal van de drukvoerende wanden geen fout bevindt die onder bedrijfscondities tot falen van de component zou kunnen leiden.

6.2.2 Reactorvat

Taak en functie

Het reactorvat vormt het omhulsel voor de nucleaire warmtebron en is een vast punt in het primair systeem. In het reactorvat met binnenwerk zijn de reactorkern inclusief de noodzakelijke meet- en regelapparatuur ondergebracht.

Het hoofdkoelmiddel treedt het reactorvat binnen via twee inlaatstompen en stroomt in de ringvormige ruimte tussen de kernhouder en de wand van het reactorvat axiaal naar beneden. Nadat de stromingsrichting radiaal is omgekeerd, stroomt het hoofdkoelmiddel van onder naar boven door de reactorkern en verlaat het reactorvat via twee uitlaatstompen.

De koelmiddelinaat- en -uitlaatstompen liggen in een vlak dat circa 1450 mm boven dat van de bovenkant van de reactorkern ligt. Onder deze stompen bevinden zich geen andere doorvoeringen, zodat de koeling van de reactorkern ingeval van lekkage in de aangesloten leidingen door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) wordt gegarandeerd.

Constructie

Het reactorvat bestaat uit het onderstuk en het vatdeksel (figuur 6.2.2/1), die met een flensverbinding aan elkaar verbonden zijn. Het reactorvat is uit naadloze smeedstukken vervaardigd (geen verticale lasnaden). Alle oppervlakken die met het hoofdkoelmiddel in contact komen, zijn van een roestvaststalen platering voorzien om het hoofdkoelmiddel schoon te houden.

Het onderstuk van het vat bestaat uit de volgende smeedstukken, die door middel van horizontale lasnaden met elkaar verbonden zijn:

- vatbodem;
- conische mantelring;
- 2 vatringen;
- mantelflensring.

De consoles voor de axiale en radiale begrenzing van de kernhouder zijn aan de binnenzijde aan de bodem van het vat gelast, evenals de consoles voor ondersteuning van de kernhouder.

In de mantelflensring zijn de 4 koelmiddelstompen en aan de buitenzijde de draagsteunen voor ondersteuning van het reactorvat gelast.

Aan de binnenzijde van de mantelflensring is de bovenste kernondersteuning op een draaglijst geplaatst. De mantelflensring is verder voorzien van taggaten met schroefdraad voor de flensverbinding van het reactorvat.

Het vatdeksel bestaat uit een:

- dekselring;
- dekselkom.

In de dekselring bevinden zich de doorlopende gaten ten behoeve van de tapeinden van het reactorvat en de groeven voor de O-ringen.

In de dekselkom bevinden zich de stompen voor de aandrijvingen van de regelementen en voor de kerninstrumentatie. De benodigde versteviging rondom de uitsparingen voor de stompen in het deksel is in de dekselkom aangebracht. Alle stompen zijn ingeschroefd. Om de noodzakelijke afdichting te garanderen, zijn de stompen met hun corrosievaste bekleding aan de binnenzijde van de dekselkom aan de platering vastgelast.

Periodiek niet-destructief onderzoek van het reactorvatOnderste gedeelte van het reactorvat en hoofdkoelmiddelleidingen

Het inwendige oppervlak van het onderste gedeelte van het reactorvat is na verwijdering van het deksel en demontage van het binnenwerk toegankelijk. De controles worden vanwege de gewenste afscherming onder water vanaf de binnenzijde van het reactorvat door de platering heen uitgevoerd. De aankoppeling van de tasters voor ultrasoon onderzoek geschiedt met behulp van op afstand bediende apparatuur.

Ultrasoon onderzoek wordt uitgevoerd aan:

- lasnaden in de reactorvatwand;
- ingelaste delen en binnenkanten van koelmiddelstompen;
- verbindingsnaden van de hoofdkoelmiddelleidingen.

Visuele inspecties worden in geselecteerde zones, bijvoorbeeld met een onderwater-camera, uitgevoerd.

Reactorvatdeksel

Na demontage wordt het reactorvatdeksel op een daarvoor bestemde plaats opgesteld en is daar vanaf de buiten- en binnenzijde toegankelijk voor inspectie.

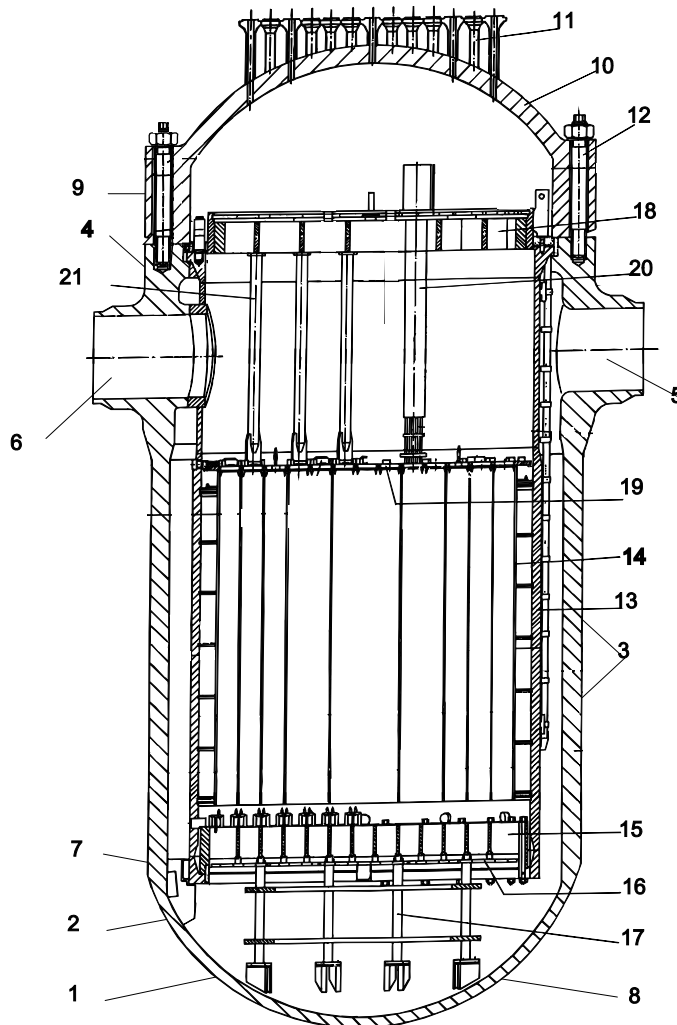
Ultrasoon onderzoek wordt op afstand bediend uitgevoerd aan:

- de rondlas van het deksel;
- de bevestigingslas reactorvatdeksel/stompen.

De visuele inspectie van de platering aan de binnenzijde van het deksel geschiedt met behulp van een TV-camera.

Draadeinden en moeren van het reactorvat

De draadeinden worden in gedemonteerde toestand aan een ultrasoon onderzoek onderworpen, om scheuren in en dicht aan het oppervlak op te sporen. De moeren worden visueel geïnspecteerd.



1	Vatbodem	
2	Conische mantelring	<u>Onderste kernondersteuning</u>
3	Vatringen	13 Kernhouder
4	Mantelflensring	14 Kernmantel
5	Koelmiddel­inlaatstomp	15 Onderste rooster
6	Koelmiddel­uitlaatstomp	16 Stuwplaat
7	Console kernhouderbegrenzing	17 Schemel
8	Console kernhouderondersteuning	<u>Bovenste kernondersteuning</u>
9	Dekselflensring	18 ovenste rooster
10	Dekselkom	19 Roosterplaat
11	Regelstaafstompen	20 Regelstaafgeleiding
12	Bevestigingstapeinden	21 Verbindingsstangen

Figuur 6.2.2/1 Constructiedelen van het reactorvat

6.2.3 Binnenwerk van het reactorvat

Het binnenwerk van het reactorvat dient voor:

- opname van het gewicht en de spankrachten van de splijtstofelementen;
- goede positionering en uitlijning van de splijtstofelementen;
- uitlijning en geleiding van de regelementen;
- opname van de stootbelasting van de regelementen bij een snelle afschakeling van de reactor;
- geleiding van de hoofdkoelmiddelstroom in het reactorvat;
- vermindering van de warmte- en neutronenbestraling van de reactorvatwand.

De kernondersteuning, de draagconstructie van de reactorkern, bestaat in principe uit:

- de onderste kernondersteuning, en
- de bovenste kernondersteuning met de geleidingen voor de regelementen.

Onderste kernondersteuning

De onderste kernondersteuning bestaat uit:

- de kernhouder;
- de kernmantel;
- het onderste rooster;
- de stuwplaat (stromingsgeleidingsplaat) en
- de schemel (opvangconstructie voor de kern).

De onderste kernondersteuning bepaalt grotendeels de positionering van de reactorkern bij alle bedrijfscondities en ongevallen. Bij een splijtstofwisseling blijft dit gedeelte in het reactorvat, maar het kan er ook uitgehesen worden voor een inspectie van het reactorvat, zonder dat er bouten losgedraaid moeten worden.

De kernhouder vervult verschillende functies:

- stromingsgeleiding van het hoofdkoelmiddel;
- thermisch schild;
- ondersteuning van de kern (samen met het onderste rooster);
- opvangen van mechanische schokken bij snelafschakeling.

De kernhouder is met het bovineinde aan een draaglijst aan de flens van het reactorvat opgehangen.

De centrering tussen de onderste kernondersteuning en het reactorvat geschiedt met vier nokken die in de ophangflens van de kernhouder passen. Door deze constructie is verdraaien van de kernhouder ten opzichte van het reactorvat uitgesloten.

De ophangflens van de kernhouder ligt vlak aan tegen de draaglijst en is slechts van enkele gekalibreerde sleuven voorzien, die een gedoseerde nevenstroom van het binnenstromende hoofdkoelmiddel in de ruimte tussen het reactorvatdeksel en de afdekplaat mogelijk maken ten behoeve van de verwarming respectievelijk afkoeling van het reactorvatdeksel.

Bij de doorstroming van deze sleuven wordt het drukverschil tussen reactorinlaat en -uitlaat bijna opgeheven. Een te grote belasting van de afdekplaat tengevolge van het drukverschil wordt daardoor voorkomen.

De (ferritische) uitlaatstompen en de (austenitische) kernhouder sluiten bij bedrijfstemperatuur juist op elkaar aan als gevolg van verschillen in uitzetting. In de koude toestand blijft de kernhouder ver genoeg naar binnen om uithijzen van de gehele onderste kernondersteuning mogelijk te maken.

De veelhoekige contour van de reactorkern (zie figuur 4.2/1) wordt door de kernmantel omsloten. De kernmantel is door middel van horizontale platen op de kernhouder afgesteund. De afmetingen van de mantel zijn afgestemd op het uitzettingsgedrag van de splijstofelementen. Gekalibreerde uitsparingen in de platen laten een bepaalde nevenstroom voor koeling van de kernhouder toe.

Het onderste rooster draagt het gewicht en neemt de spankrachten van de kern op. Bovendien zorgt het rooster er tijdens de belading voor, dat met behulp van de op het rooster aangebrachte ruiters met stiften de splijstofelementen gecentreerd worden. Aan de onderzijde van het rooster is de stuwplaat bevestigd, die samen met de op de bodem van het reactorvat bevestigde schemel zorgt voor een gelijkmatige koelwatertoevoer naar de reactorkern.

Door de neerhouders met schotelveren wordt de gehele kernondersteuning aan de bovenzijde in verticale richting gefixeerd.

Bovenste kernondersteuning

De bovenste kernondersteuning bestaat uit:

- het bovenste rooster;
- de roosterplaat;
- de regelstaafgeleiding;
- de verbindingstangen.

De bovenste kernondersteuning is ten behoeve van de bedrijfsvoering (splijstofwisseling) uitneembaar. Deze bevindt zich in het stompengedeelte van de kernhouder en vormt de bovenste afdekking van de reactorkern waarin ook de regelstaafgeleidingen zijn ondergebracht. Bij een splijstofwisseling wordt de bovenste kernondersteuning in zijn geheel uit het geopende reactorvat verwijderd. Daarbij zijn de aandrijfstangen van de regelementen, die geheel in de splijstofelementen zijn ingeschoven, ontkoppeld. De aandrijfstangen zijn afzonderlijk of samen met de bovenste kernondersteuning uitneembaar. Daarbij bestaat geen gevaar dat de absorberstaven worden meegenomen, omdat vooraf gecontroleerd is op juiste ont koppeling.

Bij het hijsen en neerlaten worden zowel het deksel van het reactorvat als de bovenste kernondersteuning op dezelfde wijze met behulp van drie lange stangen, die aan de flens van het reactorvat worden bevestigd, axiaal geleid. Bij de bovenste kernondersteuning geschiedt de geleiding via drie ogen, die aan de buitenrand van een hijsinrichting voor de bovenste kernondersteuning zijn bevestigd. Deze hijsinrichting kan door afstandsbediening onder water aan de hijsogen van de bovenste kernondersteuning worden bevestigd.

Een buigvast bovenste rooster vormt de ruggengraat van de bovenste kernondersteuning. Het rooster bevindt zich boven de uitlaatstompen van het reactorvat. De roosterplaat is door middel van stangen, die over de gehele doorsnede van de kern zijn verdeeld, met het bovenste rooster verbonden. Met een flens ligt het rooster op de ophangflens van de onderste kernondersteuning.

De roosterplaat centreert de splijstofelementen en de regelstaafgeleidingen. Hij draagt de tijdens bedrijf omhoog gerichte stromings- en spankrachten op de aangebouwde stangen over op het bovenste rooster.

Het inzetstuk van de regelstaafgeleiding bestaat uit vier doorgaande verticale staven met tussenliggende horizontale geleidingsplaten. In deze platen zijn gaten/spleten aangebracht waardoorheen de afzonderlijke vingers van een regelement verticaal op en neer bewogen kunnen worden. Het grootste deel van dit skelet van verticale staven en horizontale geleidingsplaten wordt omsloten door een mantel ter bescherming tegen dwarsstroming. In het onderste open deel van het skelet zijn de geleidingsplaten onderling verbonden door buisjes ter geleiding van de twaalf buitenste vingers.

Voor de centrering aan de onderkant op de gaten van de roosterplaat zijn aan de roosterplaat pennen gelast. Aan de bovenzijde valt het inzetstuk van de regelstaafgeleiding in de gaten van het bovenste rooster. Bovenop het bovenste rooster zijn tenslotte afdekkappen geschroefd die nauw sluiten om de aandrijfstangen van de regelementen. Naast afsluiting ter verhindering van turbulente stroming in de dekselkom zorgen deze kappen er ook voor dat de uitstekende aandrijfstangen nagenoeg verticaal blijven staan. Dit om het eroverheen plaatsen van het reactorvatdeksel te vergemakkelijken.

Sterktetechnisch ontwerp

Het binnenwerk van het reactorvat is ontworpen voor de belastingen die tijdens normaal bedrijf en bij ongevallen kunnen optreden. Hierdoor is de afschakelbaarheid van de reactor gegarandeerd. De volgende belastingen voor bedrijfs- en ongevalscondities zijn beschouwd:

- mechanische belastingen tengevolge van gewicht, stationaire stroming, trillingen, vertragings- en spankrachten;
- temperatuurbelastingen door verschillen in uitzetting van verschillende onderdelen en als gevolg van warmtetransmissie;
- trillingen en stootbelastingen;
- belastingen als gevolg van ongevallen met koelmiddelverlies.

Tijdens de inbedrijfstelling is een uitgebreid programma van trillingsmetingen uitgevoerd.

Materialen

Door de toepassing van gestabiliseerde austenitische materialen met goede eigenschappen ten aanzien van stralingsbelasting is juist functioneren van het binnenwerk gegarandeerd. Daarbij is rekening gehouden met de neutronendosis en het stralingsniveau, dat gedurende de levensduur van de reactor zal optreden. Er zijn bij voorkeur austenitische staalsoorten met een verlaagd C-gehalte en een beperkt Co/Ta-gehalte toegepast om de invloed van de neutronenbestraling te beperken, in de vorm van gewalste platen en profielen, gesmede delen en lastoevoegmaterialen.

Alle toegepaste austenitische materialen zijn op hun gedrag onder neutronenbestraling, hun bestendigheid tegen spannings- en interkristallijne corrosie beproefd bij de te verwachten omstandigheden.

6.2.4 **Hoofdkoelmiddelpompen**

Een hoofdkoelmiddelpomp is een eentraps-centrifugaalpomp met een verticale as en een motor die bovenop de pomp is geplaatst. Het hoofdkoelmiddel treedt loodrecht aan de onderzijde de pomp binnen en wordt na drukverhoging in de waaier en horizontaal door de persstomp naar buiten geleid.

Het pomphuis is als een ringvormig huis met een axiale zuigstomp en een radiale persstomp uitgevoerd. Het is een gelaste constructie, die uit verschillende gesmede delen bestaat. Het pomphuis is in de pijpleiding gelast. De lagers, afdichtingen en andere inbouw delen zijn op het deksel gemonteerd, zodat ze na het loskoppelen van de flensverbinding samen met de as en de rotor uit het pomphuis getrokken kunnen worden. Het pomphuis zelf blijft op zijn plaats.

De hoofdafdichting (HD-afdichting), waarin de volle systeemdruk tot een tegendruk van enkele malen de atmosferische druk wordt gereduceerd, is een hydrodynamische, mechanische asafdichting in tweetrapsuitvoering. De lekkage van deze afdichting bedraagt enkele honderden liters per uur en wordt naar het koelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) afgevoerd. De afdichting naar buiten toe, waarbij de druk tot atmosferische druk wordt teruggebracht, wordt verzorgd door een extra nageschakelde mechanische afdichting (LD-afdichting). In geval van beschadiging van de HD- en LD-afdichtingen kan de pomp tenslotte nog door een reserve afdichtingstrap tegen de volle systeemdruk worden afgedicht. Deze afdichting is normaliter geopend en wordt bij een overmatige lekkage automatisch gesloten.

Indien als gevolg van een veronderstelde externe invloed de automatische afdichting faalt dan kan de reserve afdichting alsnog gesloten worden door opening van een bypass-klep. Hierdoor wordt verhoogde lekkage van hoofdkoelmiddel in de veiligheidsomhulling voorkomen.

De pomp wordt via een boogtandkoppeling aangedreven door een elektromotor met terugloopblokkering. De elektromotor rust met het zogenaamde lantaarnstuk, die de verbinding vormt tussen de pomp en de motor, op het pomphuis, dat zodanig is opgehangen dat de thermische uitzetting van de hoofdkoelmiddelleidingen gecompenseerd wordt.

Voor koeling en smering van het onderste lager en de HD-afdichting wordt schoon, koud sperwater uit het volumeregelsysteem (TA) gebruikt. Een gedeelte hiervan stroomt via het onderste lager in het pomphuis. Hiermee wordt tevens voorkomen dat heet water uit het primair systeem stroomt. Het resterende gedeelte van het koude sperwater stroomt door de HD-afdichting. Het wordt in de ruimte tussen HD- en LD-afdichting verzameld, naar buiten afgevoerd en in het volumeregelsysteem (TA) weer op de sperwaterdruk gebracht. De LD-afvoerleiding is voor de volle systeemdruk ontworpen, voor het geval dat de HD-afdichting defect mocht raken.

Voor de aslaging is als onderste stuurlager het bovengenoemde watergesmeerde lager op de waaier aangebracht. De overige lagers, het bovenste radiaal- en druklager evenals de motorlagers zijn oliegesmeerd. De olie wordt via een olietoevoersysteem, bestaande uit een oliereservoir, koelers, filters, pompen en benodigde reserve-eenheden met toebehoren, naar de smeerpunten geleid. Voor de afdichting van de flensverbinding tussen pomphuis en deksel wordt een spiraalafdichting van grafiet toegepast.

Periodiek niet-destructief onderzoek van de hoofdkoelmiddelpomphuisen

De zones die aan ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden onderworpen, zijn direct toegankelijk nadat de eenvoudig demonteerbare warmte-isolatie is verwijderd.

Ultrasoon en/of oppervlaktescheuronderzoek wordt uitgevoerd aan lasnaden in de pomphuisen.

6.2.5 **Stoomgeneratoren**

Taak en functie

De stoomgeneratoren (figuur 6.2.2/2) dienen om met behulp van de door het hoofdkoelmiddel overgedragen warmte, de voor de aandrijving van de turbine benodigde verzadigde stoom te produceren.

Het hoofdkoelmiddel (primaire zijde) komt de inlaatkamer via de inlaatstomp binnen, stroomt door de U-vormig gebogen pijpen en geeft daarbij zijn warmte af aan het secundaire systeem. Het hoofdkoelmiddel verlaat de stoomgenerator via de uitlaatstomp in de uitlaatkamer.

Aan het gedeelte boven de pijpplaat (secundaire zijde) wordt ten behoeve van de productie van verzadigde stoom via een aan de zijkant aangebrachte inlaatstomp en een daarop aangesloten ringverdelers voorverwarmd water toegevoerd. De stroomproductie vindt bij natuurlijke circulatie plaats. Hiertoe is rondom de pijpenbundel een geleidemantel aangebracht, die boven de pijpenbundel met de waterafscheider is verbonden.

In de ruimte boven het waterpeil zijn een waterafscheider voor de grove afscheiding van het stoom/watermengsel en een stoomdroger voor droging van de stoom aangebracht.

De gedroogde stoom verlaat de stoomgenerator via de centrale uitlaatstomp op de bovenzijde waarop de hoofdstoomleiding is aangesloten.

Constructie

De stoomgeneratoren zijn als warmtewisselaars met U-vormige pijpen in verticale opstelling uitgevoerd. De belangrijkste componenten zijn de pijpplaat, de bundel U-vormige pijpen, onder de pijpplaat een halfronde verzamelkamer (inlaat- respectievelijk uitlaatkamer gescheiden door een bolle scheidingswand) en de drukvoerende wand die boven de pijpplaat, cilindrisch om de pijpenbundel is aangebracht en zich boven de pijpenbundel conisch verwijdt en aan de bovenzijde is afgesloten.

De bundel U-vormige pijpen wordt over de totale lengte door verschillende roosters geleid. De afzonderlijke pijpen zijn aan de pijpplaat-platering aan primaire zijde vastgelast en na het inlassen in de pijpplaat gewalst.

Met behulp van wervelstroomonderzoek kan de wanddikte van de U-vormige pijpen vanuit de primaire kamers worden bepaald. Voor de toegankelijkheid is een mangatstomp aangebracht. Via de secundaire mangatstomp kan het binnenwerk aan secundaire zijde worden geïnspecteerd en kunnen de afscheiders worden gemonteerd en gedemonteerd. Bovendien zijn in de drukvoerende wand boven de pijpplaat enkele handgaten aangebracht, waardoor de pijpbundel en de pijpplaat visueel kunnen worden geïnspecteerd.

Voor de ophanging van de stoomgenerator zijn aan de buitenzijde van de pijpplaat drie draagsteunen gelast.

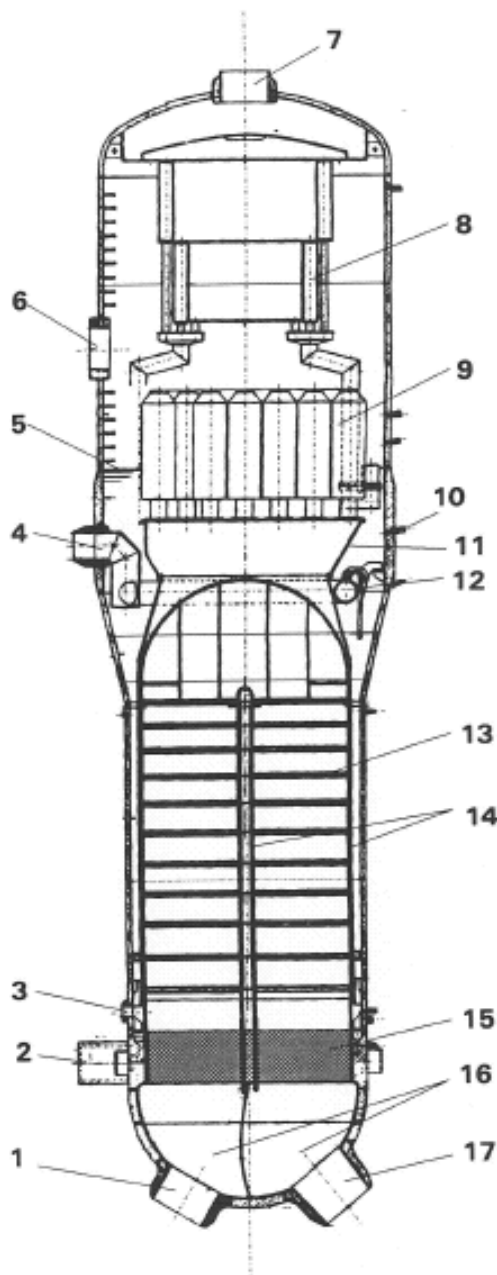
Periodiek niet-destructief onderzoek van de stoomgeneratoren

De zones die aan ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden onderworpen, zijn direct toegankelijk nadat de eenvoudig demonteerbare warmte-isolatie is verwijderd.

Ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden uitgevoerd aan:

- lasnaden in de wand;
- ingelaste stompen.

Bovendien worden de pijpen van de stoomgenerator met behulp van op afstand bediende apparatuur aan een wervelstroomonderzoek en waar nodig aan ultrasoon onderzoek onderworpen. Belangrijke delen van het binnenoppervlak worden visueel geïnspecteerd.



1	Primaire uitlaatstomp	10	Inlaat voor meetleidingen
2	Draagsteun	11	Geleidemantel
3	Handgat	12	Ringverdeler
4	Secundaire inlaatstomp	13	Pijpenbundelondersteuning
5	Waterniveau	14	Pijpenbundel
6	Mangat (secundair)	15	Pijpplaat
7	Secundaire uitlaatstomp	16	Verzamelkamers
8	Stoomdroger	17	Primaire inlaatstomp
9	Waterafscheider		

Figuur 6.2.2/2 Stoomgenerator

6.2.6 Hoofdkoelmiddelleidingen en afsluiters

Hoofdkoelmiddelleidingen

De hoofdkoelmiddelleidingen verbinden de componenten van het reactorkoelsysteem en dienen om het hoofdkoelmiddel van het reactorvat naar de stoomgenerator en vervolgens via de hoofdkoelmiddelpomp terug naar het reactorvat te transporteren.

De pijpen en bochten van de hoofdkoelmiddelleidingen en de volume-vereffeningsleiding zijn van ferritisch, goed lasbaar, fijnkorrelig staal met een austenitische platering vervaardigd. Voor de hoofdkoelmiddelleidingen en de volumevereffeningsleiding is aangetoond dat aan de voorwaarden voor toepassing van het concept van uitsluiting van grote breuken en dus aan het principe van lek-voor-breek wordt voldaan. Een grote breuk van deze leidingen als gevolg van een rondgaande scheur is daardoor uitgesloten (zie paragraaf 5.1.4). De stompjes zijn op dezelfde wijze uitgevoerd. Alle overige pijpleidingen van het reactorkoelsysteem zijn van roestvast staal vervaardigd.

Het reactorvat dient als vast punt. De stoomgeneratoren en de hoofdkoelmiddelpompen zijn opgehangen in trekstangen, zodat voorkomen wordt dat de hoofdkoelmiddelleidingen tengevolge van warmtespanningen extra worden belast.

Periodiek niet-destructief onderzoek van de hoofdkoelmiddelleidingen

De zones die aan ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden onderworpen, zijn direct toegankelijk nadat de eenvoudig demonteerbare warmte-isolatie is verwijderd.

Aan de hoofdkoelmiddelleidingen wordt ultrasoon onderzoek hoofdzakelijk uitgevoerd met op afstand bediende testapparatuur. Daarbij worden de rond- en langsnaden geïnspecteerd.

Afsluiters

De afsluiters van het primair systeem vervullen de volgende functies:

- afsluiting van de op het reactorkoelsysteem aangesloten leidingen van de veiligheids- en hulpsystemen (eerste afsluiting);
- waarborging van de veiligheidsfuncties onder bedrijfs- en ongevalscondities, bijvoorbeeld:
 - o openen voor nakoeling en kerninundatie;
 - o regelfuncties (drukhoudsysteem);
 - o sluiten bij isolatie van het primaire systeem.

De afsluiters in het primair systeem worden door het noodstroomnet 2 gevoed.

Afsluiters die geen actieve veiligheidsfunctie vervullen, zijn handbediend en worden bijvoorbeeld voor aftap en ontluchting toegepast.

De volgende soorten afsluiters worden gebruikt voor een actieve veiligheidsfunctie:

- afsluiters met elektrische aandrijving, bijvoorbeeld in het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- terugslagkleppen, bijvoorbeeld in het kerninundatie- en nakoelsysteem of in het volumeregelsysteem (TA).

Voor drukbeveiliging en -ontlasting van het reactorkoelsysteem zijn drie drukbeveiligingstoestellen op de dome van de drukhouder gemonteerd. Deze zijn beschreven in sectie 6.2.1.1.1.

6.2.7 **Drukhouder en afblaastank**

Drukhouder

De drukhouder dient om de voor de normale bedrijfsvoering van het reactorkoelsysteem vereiste druk, die boven de bij de reactoruitlaattemperatuur behorende verzadigingsdruk ligt, te leveren respectievelijk in stand te houden. Met name bij belastingsvariaties van de reactor moeten de volumeveranderingen van het hoofdkoelmiddel, die door verandering van de systeemtemperatuur worden veroorzaakt, zonder grote drukvariaties gecompenseerd worden (zie ook paragraaf 6.2.1.1.1).

De drukhouder is een cilindrisch vat met daarop een dome. In het onderste gedeelte van de drukhouder zijn de stompen voor de verwarmingselementen, de aftapleiding, de aansluiting voor de volume-vereffeningsleiding en een mangat aangebracht.

Aan de bovenkant bevinden zich stompen voor het sproeisysteem en de dome. Op de drukhouderdome bevinden zich de stompen voor de drukbeveiligingstoestellen. De drukbeveiligingstoestellen voorkomen dat de druk in het primaire systeem stijgt boven de ontwerpdruk.

In het bovenste vatgedeelte is een binnenmantel ingebouwd, om de vatwand tegen thermische schokken als gevolg van het koude sproeiwater te beschermen.

Ook de sproeileidings- en volumevereffeningsstompen zijn door middel van een warmtebuffer beschermd tegen thermische schokken.

Afblaastank

De afblaastank is een cilindrisch vat met daarop een dome. De afblaastank is voorzien van een verdeelsysteem om de stoom die bij opening van de drukbeveiligingstoestellen uit de drukhouder stroomt, te condenseren.

De afgeblazen stoom wordt aan de bovenzijde via stompen in de dome naar het vat geleid en via verdeelpijpen en sproeiers in het in het vat aanwezige koude water geblazen. Het vat is voor circa 2/3 met water gevuld. Boven het waterpeil is voortdurend een stikstofkussen aanwezig.

Verdeelpijpen en sproeiers zijn zodanig ontworpen, dat er volledige condensatie van de damp in het aanwezige water kan plaatsvinden. Indien de watertemperatuur in de afblaastank een bepaalde waarde bereikt, wordt het water gekoeld via een aangesloten koelkringloop, bestaande uit een warmtewisselaar, circulatiepomp en de verbindingleidingen en appendages.

Door middel van een temperatuurbewaking en een waterpeilregeling worden de vereiste waarden aangehouden. De afblaastank wordt tegen ontoelaatbare overdruk beveiligd met behulp van breekplaten. Ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden is in het vat en in de dome een mangat aangebracht.

Periodiek niet-destructief onderzoek van de drukhouder

De zones die aan ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden onderworpen, zijn direct toegankelijk nadat de eenvoudig demonteerbare warmte-isolatie is verwijderd.

Ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden uitgevoerd aan:

- lasnaden;
- ingelaste stompen.

Belangrijke delen van het binnenoppervlak worden met een TV-camera visueel geïnspecteerd.

6.2.8 Regelstaafaandrijvingen

Taak

Voor de vermogensregeling en snelle afschakeling worden regelementen toegepast (zie paragraaf 6.2.8). De regelementen worden via regelstaafaandrijvingen op- en neerbewogen.

Met behulp van de regelstaafaandrijvingen kunnen de regelementen over de totale hoogte van de kern in- of uitbewogen worden, of in elke positie in overeenstemming met de groefverdeling van de aandrijfstangen binnen het bewegingsgebied gefixeerd worden. Bovendien kunnen de aandrijfstangen in geval van een noodzakelijke snelle afschakeling geheel ontkoppeld worden, zodat de regelementen met aandrijfstangen door de zwaartekracht in de kern vallen.

Constructie

De regelstaafaandrijving bestaat uit:

- de drukbuis;
- het klinkenmechanisme;
- de aandrijfstang;
- de spoelenhouder.

Elke regelstaafaandrijving vormt een afzonderlijke eenheid, die apart op één van de stompen van het vatdeksel wordt geschroefd. De afdichting van deze flensverbinding geschiedt met een metalen dichtingsring. De wand van het druklichaam vormt de begrenzing van de drukvoerende ommanteling van het hoofdkoelmiddel.

De stappeneenheid is in het onderste gedeelte van het druklichaam ingebouwd. Deze eenheid bestaat hoofdzakelijk uit de geleidebus als dragend deel, palhouders met pallen, ankers en polen. Door de ankers worden twee groepen pallen bewogen. De pallen grijpen in een vaste volgorde in de groeven van de aandrijfstang. Door deze vaste volgorde kan de aandrijfstang en dus ook het regelement in of uit de kern worden gestuurd.

De aandrijfstang vormt de verbinding tussen de stappeneenheid en het regelement. Ze bestaat uit een buis, die aan de bovenzijde over de benodigde slaglengte met een steek van 10 mm is gegroefd en aan de onderzijde van een mechanische koppeling is voorzien. Deze koppeling zorgt voor de verbinding met het regelement.

Tijdens reactorbedrijf is de aandrijfstang altijd met het regelement verbonden. De koppeling kan vanaf de bovenzijde via een bedieningsstang, die door het binnenste van de aandrijfstang wordt geleid, worden losgekoppeld. Het regelement kan alleen losgekoppeld worden als het reactorvatdeksel is verwijderd.

Het spoelenhuis bestaat hoofdzakelijk uit de drie werkspoelen (hef-, grijp- en houdspoel) en spoelen voor standaardwijzing (analoge en eindpositiespoelen).

Stapsgewijze verplaatsing

Het regelement wordt verplaatst in een door een klokgenerator vooraf ingestelde volgorde van spoelstroomschakelingen op de drie werkspoelen. In de ruststand (element volledig ingeschoven) is alleen de grijpspoel ingeschakeld. Het regelement wordt vanuit deze ruststand door gerichte schakelvolgordes omhoog bewogen.

Reactorsnelafschakeling (RESA)

De werkwijze van de regelstaafaandrijving bij een reactorsnelafschakeling of stroomuitval aan de werkspoelen, is steeds veiligheidsgericht (fail-safe). Wanneer een RESA optreedt, of de stroomvoorziening uitvalt, vallen de ankers van de polen. Hierdoor worden de pallen uit de groeven van de aandrijfstang getrokken. De aandrijfstang wordt niet langer in positie gehouden en valt met

het aangekoppelde regelement door de zwaartekracht in de kern. Het regelement wordt aan het einde van de val door hydraulische schokbrekers afgeremd. De restenergie wordt door een veer, die aan de spinconstructie van het regelement is bevestigd, opgenomen.

Standaanwijzing

De actuele positie van de aandrijfstang en daarmee de positie van het ermee verbonden regelement, wordt via een digitale stappenteller, die door de klokgenerator wordt gestuurd, en via een continue analoge signalering door middel van de standaanwijsspoele bepaald. Daarnaast worden de bovenste en onderste positie door afzonderlijke eindpositiepoelen geregistreerd.

Functionele beproevingen

De regelstaafaandrijvingen zijn op een proefbank aan een functionele beproeving onderworpen, waarbij druk en temperatuur in overeenstemming waren met de bedrijfscondities. Het functioneel beproevingsprogramma omvatte het functioneren van de aandrijving in koude en warme toestand, en het testen van de functie voor reactorsnelafschakeling.

Na de montage op het reactorvatdeksel is de werking van de aandrijving in het kader van de inbedrijfstelling nogmaals getest en zijn valtijdmetingen uitgevoerd.

Jaarlijks worden functionele beproevingen uitgevoerd.

6.2.9 Akoestisch bewakingssysteem

Om beschadiging door losse of losgeraakte delen in het reactorkoelsysteem in een vroegtijdig stadium te onderkennen, worden de amplitudes van geluidssignalen binnen een bepaald frequentiebereik continu gemeten.

De daarbij gebruikte opnemers zijn aan de wand van de componenten aangebracht:

- twee opnemers zijn circa 180 ° verspringend op het reactorvatdeksel aangebracht;
- per stoomgenerator is één opnemer boven (nabij de voedingswaterstomp) en een andere aan de onderkant van de stoomgenerator gemonteerd.

De signalen van de opnemers worden via meetleidingen naar de voorversterkers binnen de veiligheidsomhulling geleid, in gestandaardiseerde signalen omgezet en via doorvoeringen uit voorgespannen glas naar de regelzaal geleid. Aanspreken van het systeem leidt tot een alarmering op de regelzaal.

Tabel 6.2.2/1 Reactorkoelsysteem met indicatieve gegevens

Ontwerpdruk	176	bar
Ontwerptemperatuur:		
- drukhouder	362	°C
- overig systeem	350	°C
<u>Reactorvat</u>		
- inwendige diameter	3726	mm
- cilinderwanddikte + platering	181 + 7	mm
- hoogte	9825	mm
- basismateriaal	22 NiMoCr 37	
<u>Regelstaafaandrijving</u>		
- aantal	28	
- slaghoogte	2630	mm
- hefkracht	2000	N
- staplengte	10	mm
- stappenfrequentie (maximaal)	1	s ⁻¹
<u>Hoofdkoelmiddelpomp</u>		
- debiet	24500	m ³ /h
- toerental	25	s ⁻¹
- vermogen (bij bedrijfstemperatuur)	7750	kW
- materiaal	fijnkorrelig staal	
<u>Hoofdkoelmiddelleiding</u>		
- nominale diameter	800	mm
- materiaal	fijnkorrelig staal	
<u>Stoomgenerator</u>		
- hoogte	16380	mm
- materiaal	fijnkorrelig staal	
- ontwerpdruk (primair)	176	bar
- ontwerpdruk (secundair)	88	bar
- ontwerptemperatuur	350	°C
- materiaal (U-pijpen)	Incoloy 800	
<u>Drukhouder</u>		
- totaal beschikbaar volume	40	m ³
- watervolume bij vollast	24	m ³
- stoomvolume bij vollast	16	m ³
- beschikbare verwarmingscapaciteit	2000	kW
- materiaal	fijnkorrelig staal	
<u>Afblaastank</u>		
- totaal beschikbaar volume	40	m ³
- watervolume (normaal bedrijf)	25	m ³
- gasvolume (normaal bedrijf)	15	m ³
- temperatuur (normaal bedrijf)	50	°C

6.3 VEILIGHEIDSVORZIENINGEN

In hoofdstuk 6.3 worden de belangrijkste veiligheidstechnische installaties van de centrale beschreven. De samenhang tussen de verschillende veiligheidsvoorzieningen is besproken in de veiligheidsdoelstellingen (paragraaf 5.1). Na een beschrijving van de veiligheidsomsluiting (paragraaf 6.3.1) en het nucleair ventilatiesysteem (paragraaf 6.3.2) als onderdelen van het barrièreconcept wordt in het resterende deel van dit hoofdstuk een beschrijving gegeven van de actieve veiligheidsvoorzieningen. In paragraaf 6.3.3 is dit het kerninundatie- en nakoelsysteem, in paragraaf 6.3.4 het primair reserve-suppletiesysteem, in paragraaf 6.3.5 het reserve nakoelsysteem en in paragraaf 6.3.6 het reserve noodkoelwatersysteem; dit zijn veiligheidssystemen ten behoeve van de primaire warmteafvoer, waarbij de laatste 2 systemen de reserve nakoelketen vormen. De veiligheidssystemen ten behoeve van de secundaire warmteafvoer, te weten het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem, het secundair reservesuppletiesysteem en het hoofdstoomsysteem worden in de paragrafen 6.3.7, 6.3.8 en 6.3.9 beschreven. Het ventilatiesysteem voor de regelzaal wordt in paragraaf 6.3.10 beschreven en het ventilatiesysteem van de reserveregelzaal in paragraaf 6.3.11.

6.3.1 Het principe van de veiligheidsomsluiting

6.3.1.1 Functioneel ontwerp van het reactorgebouw (01/02)

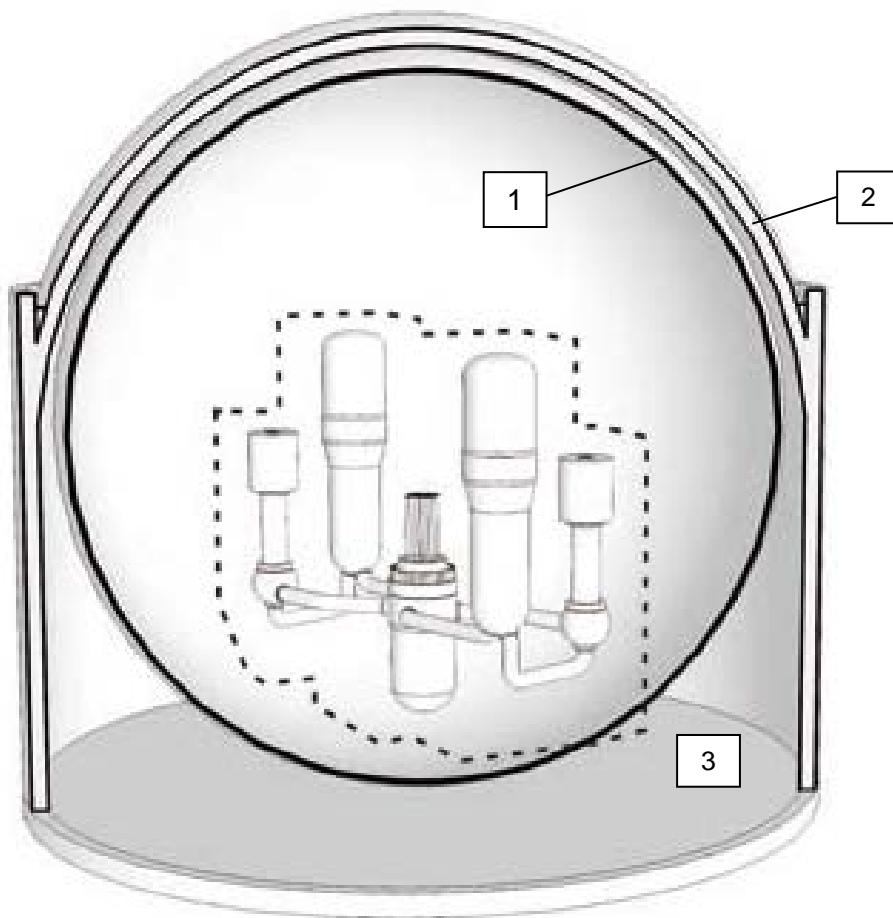
De veiligheidsomsluiting dient de omgeving te beschermen tegen het ontoelaatbaar vrijkomen van radioactieve stoffen en tegen directe straling tijdens normaal bedrijf en bij mogelijke ongevallen, in het bijzonder:

- ongevallen met verlies van koelmiddel (koelmiddelverliesongeval);
- ongevallen bij het hanteren van splijtstofelementen;
- verlies van koeling van het splijtstofopslagbassin.

Bovendien beschermt de veiligheidsomsluiting de voor de veiligheid belangrijke onderdelen van de centrale die hierin zijn gehuisvest tegen invloeden van buitenaf.

De volgende activiteitsbarrières vormen samen de veiligheidsomsluiting (zie figuur 6.3.1.1/1):

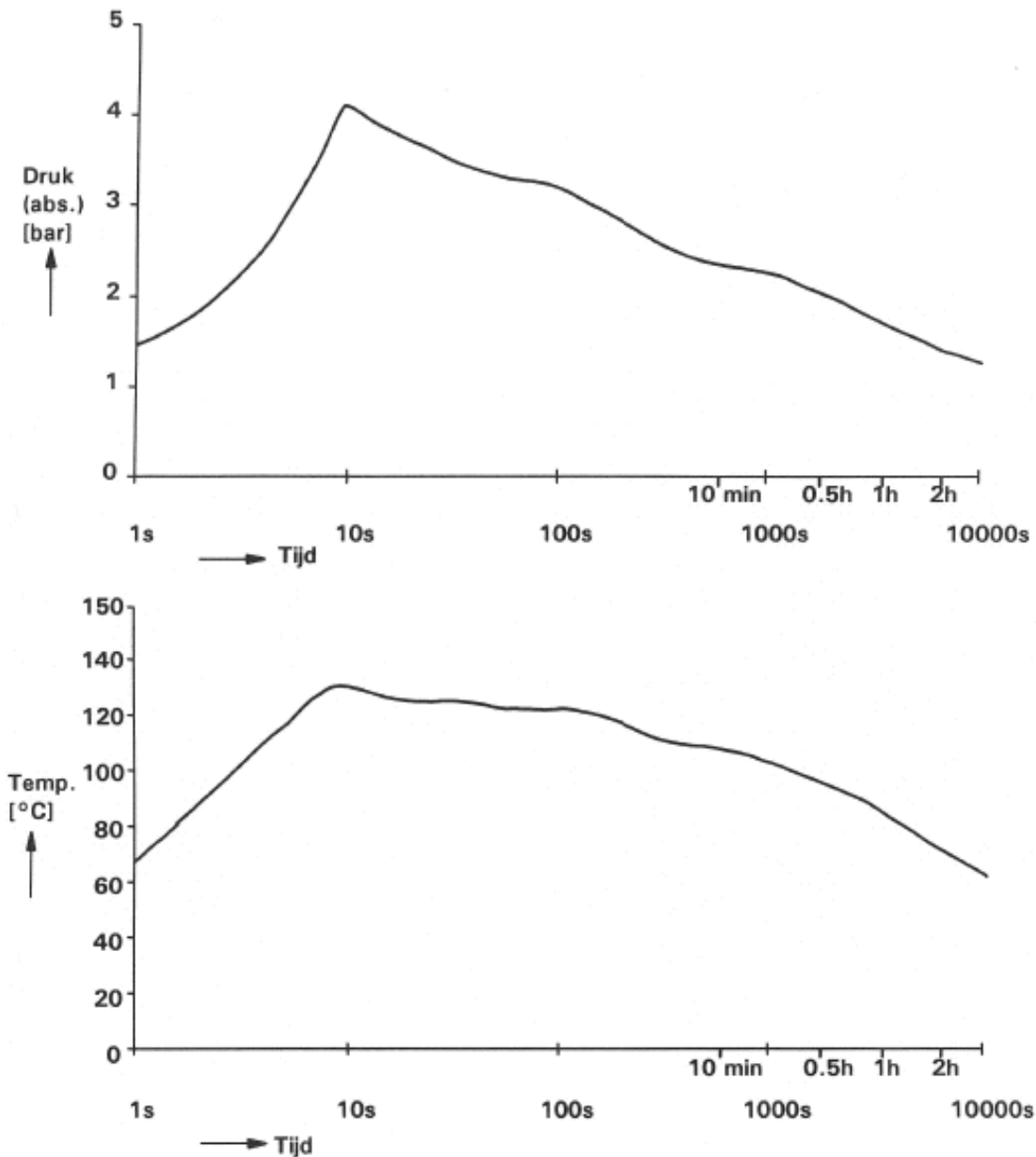
- de veiligheidsomhulling (staal) met sluisen en doorvoeringen voor leidingen, kabels en ventilatiekanalen met inbegrip van de afsluiters in de leidingen en kanalen die door de veiligheidsomhulling heen voeren;
- de secundaire afscherming (gewapend beton) met fundatieplaat;
- de ringruimte (O2) (de ruimte tussen de secundaire afscherming en de veiligheidsomhulling) met gefilterde luchtafzuiging.



- | |
|--|
| 1 Veiligheidsomhulling
2 Secundaire afscherming
3 Ringruimte |
|--|

Figuur 6.3.1.1/1 Activiteitsbarrières

De bolvormige veiligheidsomhulling vormt een drukbestendige en gasdichte barrière. Ze is ontworpen om belastingen te weerstaan ten gevolge van overdruk en temperatuur die zich na een falen van een hoofdkoelmiddelleiding onder conservatieve omstandigheden zouden voordoen (koelmiddelverliesongeval). In het bijzonder de aanname dat de uitstroombdoorsnede overeenkomt met de dubbele diameter van de leiding (2F-breuk) leidt tot maximale druk- en temperatuurwaarden die afdekkend zijn voor andere koelmiddelverliesongevallen. Hoe bij een 2F-breuk zich de druk en de temperatuur binnen de veiligheidsomhulling ontwikkelen als functie van de tijd, is weergegeven in figuur 6.3.1.1/2.



Figuur 6.3.1.1/2 Druk- en temperatuurverloop binnen de veiligheidsomhulling na een ongeval met koelmiddelverlies (2F-breuk)

Uit deze figuur blijkt dat de berekende druk en temperatuur binnen de veiligheidsomhulling lager zijn dan de onderstaande ontwerpwaarden:

- inwendige druk: 4,8 bar (absoluut)
- bijbehorende temperatuur: 130 °C

Alle drukvoerende installatiedelen van het primair systeem zijn omgeven door wanden van gewapend beton. Hierdoor wordt bij een breuk in deze drukvoerende systemen de stalen veiligheidsomhulling tegen eventuele weggeslingerde fragmenten beschermd.

De secundaire afscherming van het reactorgebouw beschermt de omgeving tegen directe straling vanuit het binnenste van de veiligheidsomhulling na een koelmiddelverliesongeval. De betonnen omhulling beschermt de voor de veiligheid belangrijke onderdelen van de installatie die hierin zijn gehuisvest tegen belastingen die het gevolg kunnen zijn van invloeden van buitenaf.

Om een ongecontroleerde verspreiding van radioactiviteit te voorkomen is tijdens normaal bedrijf de luchtstroom met behulp van de ventilatiesystemen zo ingesteld, dat deze van ruimten met een lage radioactiviteit naar ruimten met een hogere radioactiviteit stroomt (zie paragraaf 6.3.2).

Bij ongevallen die leiden tot een overdruk in de veiligheidsomhulling zorgt de luchtafzuiging uit de ringruimte er voor dat er in de ruimte tussen de veiligheidsomhulling en de secundaire afscherming een onderdruk heerst ten opzichte van de buitenlucht. De afgezogen lucht wordt door middel van filters ontdaan van eventueel aanwezige radioactieve stoffen (aërosolen en radioactief jodium) en vervolgens via de ventilatieschacht afgevoerd. Hierdoor wordt een ongecontroleerde verspreiding van deze radioactiviteit uit de ringruimte naar de omgeving voorkomen.

De periodieke controles van de veiligheidsomhulling zijn onderverdeeld in controles van de afdichting van de doorvoeringen, functiecontroles van de sluisen en ventilatiekleppen, alsook controle voor het vaststellen van het totale lektempo. Dit zogenaamde integrale lekdichtheidsonderzoek wordt uitgevoerd als de centrale uit bedrijf is. De resultaten worden vergeleken met die van de eerste beproeving. Als beoordelingscriterium geldt dat de lekgrootte bij de ontwerpdruk van 4,8 bar niet groter is dan 0,25% (gewicht). Het integrale lekdichtheidsonderzoek wordt om technische redenen uitgevoerd bij een lagere druk van 2 bar, waarbij de maximaal toelaatbare lekgrootte overeenkomstig is gereduceerd.

6.3.1.2 **Voorzieningen voor het afsluiten van de gebouwen**

6.3.1.2.1 **Beschrijving**

Na het optreden van een koelmiddelverliesongeval worden alle doorvoeringen van de veiligheidsomhulling van systemen die niet noodzakelijk zijn voor de beheersing van het ongeval afgesloten.

Dit betreft de volgende systemen:

- nucleair ventilatiesysteem (TL);
- volumeregelsysteem (TA);
- splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG);
- nucleair monsternamesysteem (TV);
- nucleaire tussenkoelwatersysteem (TF);
- systemen voor de toe- en afvoer van hulpmedia (o.a. TP, TS, TY).

Hiervoor zijn twee afsluiters per doorvoering aanwezig, waarvan de aandrijvingen gevoed worden door noodstroom.

Bij het vrijkomen van radioactieve stoffen die een stijging van de radioactiviteit in de atmosfeer van de veiligheidsomhulling tot gevolg heeft, zonder dat hierbij de grenswaarden voor activering voor bovengenoemde afsluiting wordt overschreden, worden de ventilatiedoorvoeringen gesloten. Daartoe worden van de door de veiligheidsomhulling heen gevoerde kanalen voor luchttoevoer, luchtafvoer en handhaving van de onderdruk, de eerste ventilatiekleppen binnen en buiten de veiligheidsomhulling gesloten.

Door de veiligheidsomhulling heen gevoerde leidingen van systemen die dienen voor het afschakelen van de reactor, voor het waarborgen van de ondercriticaliteit op lange termijn, voor de nood- en nakoeling en het handhaven van de mechanische en thermische ontwerpcondities van de veiligheidsomhulling tijdens en na ongevallen, behoren tot de veiligheidsvoorzieningen, die bij een koelmiddelverliesongeval niet worden afgesloten.

Hiertoe behoren met name:

- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- primaire reservesuppletiesysteem (TW);
- hoofdstoomsysteem (RA);
- noodvoedingswatersysteem (RL);
- secundaire reservesuppletiesysteem (RS).

De omstandigheden waaronder deze systemen geheel of gedeeltelijk toch worden afgesloten, zijn overeenkomstig het verloop van het ongeval gedetailleerd in procedures vastgelegd.

6.3.1.2.2 **Grenswaarden voor activering**

De afsluiting van doorvoeringen wordt door het reactorbeveiligingssysteem (YZ) geïnitieerd als:

de druk in de installatie-/bedrijfsruimte een grenswaarde overschrijdt

of als

de noodkoelcriteria (zie paragraaf 6.4.2) worden bereikt.

Als er op andere wijze radioactieve stoffen vrijkomen (bijvoorbeeld bij het hanteren van splijtstofelementen of als gevolg van lekkages), waarbij de grenswaarde voor activering voor het afsluiten van doorvoeringen niet wordt bereikt, worden de ventilatiesystemen automatisch gesloten als de aanwijzing van de redundant uitgevoerde dosistempometingen op de splijtstofwisselmachine de grenswaarde overschrijdt.

Het tot stand komen van bovengenoemde (reactorbeveiligings-) signalen en de sturing van daarbij gebruikte actieve componenten worden periodiek gecontroleerd.

6.3.1.3 **Waterstofrecombinatie binnen de veiligheidsomhulling**

Bij een hypothetisch buiten-ontwerp ongeval of een ernstig ongeval kan onder andere waterstof in de atmosfeer van de veiligheidsomhulling vrijkomen. Voor een gedeelte kan deze waterstof uit metaal/water-reacties ontstaan. Daarnaast kan het waterstof ook afkomstig zijn van door radiolyse ontleed water, zowel uit de voorafgaande reactorbedrijfsfase alsook van de productie gedurende eventuele nood- en nakoeling.

Om na een bovengenoemd ongeval op langere termijn een ontoelaatbare toename van de H₂-concentratie te voorkomen en daarmee de H₂-concentratie beneden de explosiegrens te houden, is een systeem van recombinatoren geïnstalleerd om het H₂-gehalte van de atmosfeer in de veiligheidsomhulling gecontroleerd te reduceren. Dit systeem bestaat uit een aantal recombinatoren die binnen de veiligheidsomhulling opgesteld staan en die op een passieve wijze de H₂-concentratie reduceren.

Meer informatie over het passief waterstofrecombinatiesysteem is te vinden in paragraaf 6.11.5.

De meting van de H₂-concentratie vindt plaats met behulp van een afgeschermd monsternamekast met circulatieluchtventilator die in het reactorhulpgebouw (03) is gelokaliseerd. De toevoer van het gas uit de veiligheidsomhulling naar de monsternamekast vindt plaats via een leidingsysteem dat zuigopeningen heeft op diverse plaatsen binnen de veiligheidsomhulling. De leidingen hebben aansluitingen voor het afvoeren van condenswater en kunnen voor het spoelen met stikstof doorgeblazen worden.

6.3.1.4 Veiligheidsbeschouwing

De veiligheidsomsluiting is nodig om het vrijkomen van radioactieve stoffen naar de omgeving te beperken tot beneden aanvaardbare grenzen en om de omgeving te beschermen tegen directe straling. Dit is gewaarborgd tijdens normaal bedrijf en ontwerp-ongevallen (zie paragraaf 7.1).

Het afsluiten van de veiligheidsomhulling is nodig tijdens de beheersing van ontwerp-ongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. Het afsluiten van de veiligheidsomhulling voldoet aan dit criterium. Tijdens koelmiddelverliesongevallen worden alle doorvoeringen van de veiligheidsomhulling van systemen die niet noodzakelijk zijn voor de beheersing van het ongeval automatisch afgesloten.

Daarnaast is de veiligheidsomsluiting nodig voor het beheersen of mitigeren van buiten-ontwerpongevallen of ernstige ongevallen. Mocht de druk gedurende een dergelijk ongeval zo hoog worden dat de kans bestaat dat de veiligheidsomhulling zou kunnen falen dan bestaat de mogelijkheid van gefilterde drukontlasting (TL003, zie paragraaf 6.11.3).

De bolvormige veiligheidsomhulling vormt een drukbestendige en gasdichte barrière en is bestand tegen invloeden van binnenuit (zie paragraaf 5.9). De uit gewapend beton vervaardigde secundaire afscherming is bestand tegen invloeden van buitenaf (zie paragraaf 5.10).

In paragraaf 7.1.3 is aangetoond dat de veiligheidsomsluiting zijn functies ten aanzien van het ontoelaatbaar vrijkomen van radioactieve stoffen en ten aanzien van directe straling kan vervullen en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

6.3.2 Nucleair ventilatiesysteem (TL)

6.3.2.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

De taken van het nucleair ventilatiesysteem (TL) zijn:

- het in stand houden van gerichte luchtstromen om het via de lucht verspreiden van radioactieve stoffen te voorkomen en een ongecontroleerde afgifte daarvan aan de omgeving te verhinderen;
- het verlagen van de in de ruimten aanwezige hoeveelheid radioactiviteit in de lucht door òf de afgevoerde lucht te filteren òf de lucht te verversen;
- het voorkomen van de verspreiding van radioactieve stoffen, door de lucht te filteren voordat deze naar de ventilatieschacht wordt afgevoerd;
- het tot stand brengen en in stand houden van bepaalde luchtcondities in de ruimten;
- het afvoeren van de geproduceerde warmte door delen van de installatie en door de verlichting;
- het bewaken van het primair systeem op lekkages, door meting van de hoeveelheid condenswater die in de circulatieluchtkoelers van de installatieruimte opgevangen wordt.

In de veiligheidsomhulling (01), de ringruimte (02) en het reactorhulpgebouw (03) heerst tijdens normaal bedrijf een onderdruk ten opzichte van de buitenlucht. Daarbij wordt de druk in de veiligheidsomhulling lager gehouden dan die in de ringruimte, die weer lager is dan de druk in het reactorhulpgebouw. In de veiligheidsomhulling is de druk in de installatieruimte lager dan die in de bedrijfsruimte. Binnen een gebouw vindt er door deze luchtregeling een gerichte luchtstroom plaats van ruimten met een geringe activiteit naar ruimten met een hogere activiteit. De druk in alle ruimten wordt daarbij onder de atmosferische druk gehouden. Hierdoor wordt voorkomen dat radioactieve stoffen zich verspreiden en weglekken naar de omgeving.

Bij een ongeval waarbij de activiteit en de druk in de veiligheidsomhulling stijgen, zorgt de afzuiging van lucht uit de ringruimte (TL070) er voor, dat in de ringruimte ten opzichte van de buitenlucht een onderdruk wordt gehandhaafd. Hiermee wordt bereikt, dat door eventuele lekkages uit de veiligheidsomhulling ontsnappende radioactieve stoffen zich niet naar buiten verspreiden, omdat de lucht uit de ringruimte alleen gefilterd en gecontroleerd aan de buitenlucht wordt afgegeven.

Tijdens normaal bedrijf is de ringruimteafzuiging (TL070) buiten werking en wordt alleen voor korte tijd voor beproeving ingeschakeld; hierdoor wordt een maximale beschikbaarheid van de filters gewaarborgd. De ringruimte wordt tijdens normaal bedrijf wel geventileerd en op onderdruk ten opzichte van de buitenlucht gehouden door andere delen van het nucleair ventilatiesysteem (zie paragraaf 6.3.2.2).

Een bijzondere functie van het TL-systeem is de gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling na het optreden van buitenontwerpgevallen of ernstige ongevallen. Dit systeem (TL003) wordt beschreven in paragraaf 6.11.1.

6.3.2.2 Systeembeschrijving

Luchttoevoer

Via het luchttoevoersysteem (TL000) wordt verwarmde respectievelijk gekoelde en gefilterde buitenlucht aangevoerd, waarbij het volume van de luchtstroom afhankelijk van het drukverschil tussen een referentieruimte en de buitenlucht geregeld wordt. De lucht wordt toegevoerd in de bedrijfsruimte van de veiligheidsomhulling, de ringruimte en het reactorhulpgebouw.

Luchtafvoer

De hoeveelheid afgevoerde lucht is constant. Dit constante afvoerdebiet wordt door het luchtafvoersysteem (TL010/020) via aërosolfilters en de ventilatieschacht afgevoerd naar de

omgeving, zie figuur 6.3.2/1. Het TL010-systeem voert de lucht uit de veiligheidsomhulling via filters af naar het TL020-systeem. Naast deze lucht voert het TL020-systeem ook lucht uit de ringruimte en het reactorhulpgebouw af.

Om de installatieruimte op onderdruk te houden worden de door het drukverschil onvermijdelijke lekkages naar binnen toe vanuit de bedrijfsruimte door het onderdrukhoudsysteem van de installatieruimte (TL075) afgevoerd. Ook is het mogelijk om lucht uit de turbinecondensorafzuiging (SD, zie paragraaf 6.7.20) via het TL075-systeem af te voeren. De lucht wordt via aërosol- en actiefkoolfilters geleid en samen met de overige uit de gebouwen afgevoerde lucht via de ventilatieschacht aan de omgeving afgegeven. De vangstrendementen van de afgiftefilters worden periodiek gecontroleerd. In de ventilatieschacht worden de activiteiten en het ventilatiedebiet gemeten. Om de afgifte van de activiteit beperkt te houden wordt uit de installatieruimte slechts een beperkte hoeveelheid lucht afgezogen. Hierdoor is de gemiddelde verblijftijd van de lucht in deze ruimten ongeveer 20 uur. De kortlevende edelgassen en de stikstof zijn dan al voor een groot deel zo goed als geheel vervallen. Naast afzuigen is het mogelijk een veel grotere hoeveelheid lucht over aërosol- en koolfilters te circuleren. Hierdoor wordt een groot deel van de filterbare nucliden afgevangen.

Evenals het TL020-systeem kan de ringruimteafzuiging (TL070) lucht afvoeren vanuit de ringruimte via filters naar de ventilatieschacht. Dit laatste gebeurt alleen tijdens ongevallen.

De ringruimteafzuiging wordt ingeschakeld door het signaal "algemene gebouwafsluiting" van het reactorbeveiligingssysteem (YZ). Er zijn twee ventilatoren geïnstalleerd, die elk geschikt zijn voor de vereiste afvoercapaciteit van de lucht. Als de eerste ventilator niet start, wordt er automatisch overgeschakeld op de reserveventilator.

De afgezogen lucht wordt bij een ongeval via een filterinstallatie bestaande uit aërosol- en actiefkoolfilters naar de ventilatieschacht afgevoerd.

De stroomvoorziening van de ringruimteventilatoren is gewaarborgd door een voeding met noodstroom.

De onderdelen van de ringruimteafzuiging zijn ondergebracht in het reactorhulpgebouw.

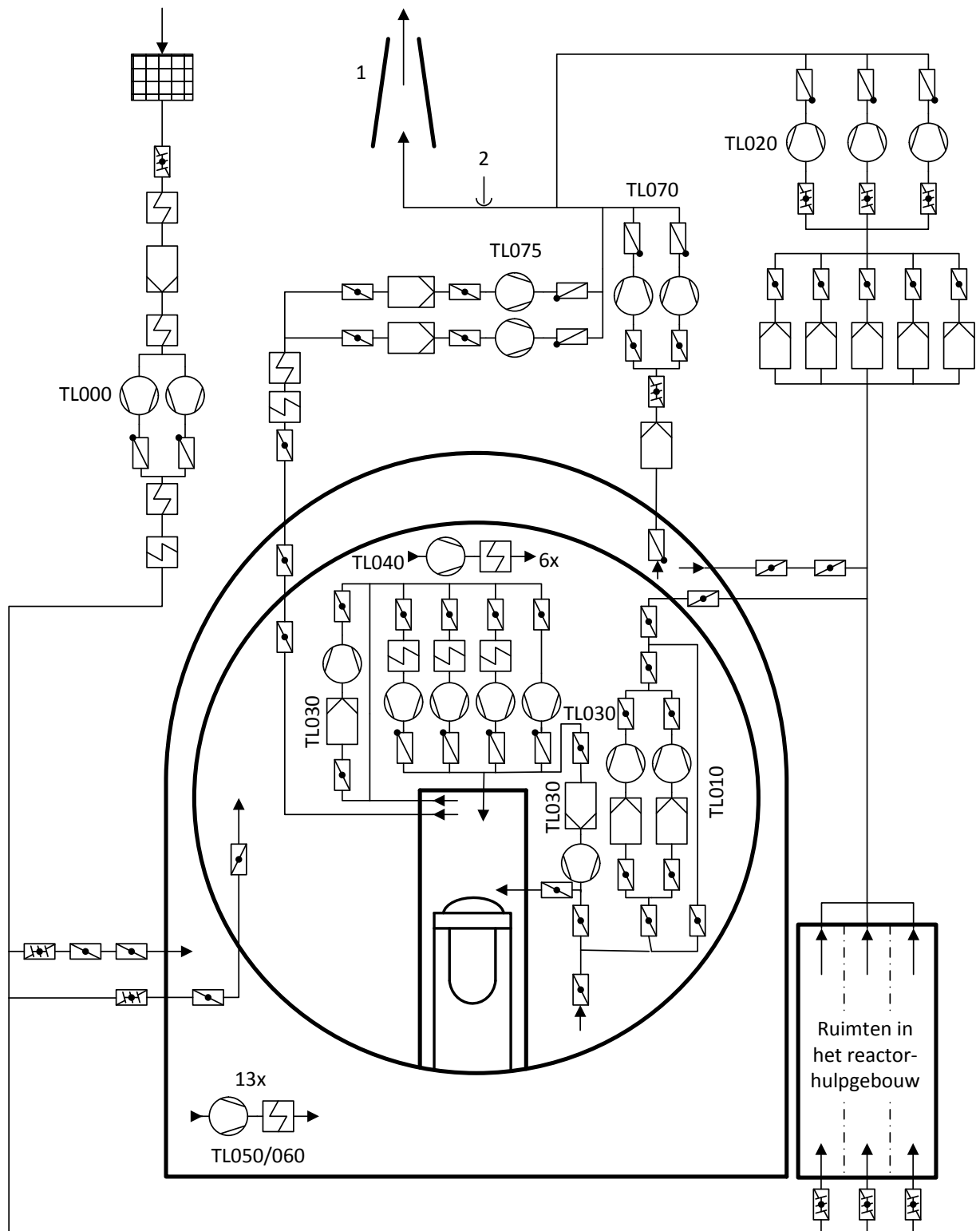
Luchtcirculatie

In de installatieruimte wordt door het luchtventilatiesysteem van de installatieruimte (TL030) de lucht gecirculeerd om zo min mogelijk lucht die radioactieve stoffen kan bevatten aan de omgeving af te geven. De circulerende lucht wordt gekoeld. Een deel van de luchtstroom kan door middel van andere ventilatoren via aërosol- en actiefkoolfilters worden geleid om de aërosol- en jodiumactiviteit in de lucht van de installatieruimte te verlagen.

Om de installatieruimte met lucht te spoelen wordt lucht uit de bedrijfsruimte gebruikt.

Voor de koeling van de bedrijfsruimte is het luchtkoelsysteem bedrijfsruimte (TL040) beschikbaar. Dit systeem circuleert de lucht door een aantal luchtkoelers. Het systeem wordt bij een verhoogde temperatuur in de bedrijfsruimte automatisch ingeschakeld.

Tijdens het bedrijf van de kerninundatiepompen (TJ), de nakoelpompen (TJ), de volumeregelpompen (TA) en de SOB-koelpompen (TG) wordt de ringruimte door het luchtkoelsysteem van de ringruimte (TL050/060) gekoeld. Hierdoor wordt de afvalwarmte van de aandrijfmotoren afgevoerd.



1 Ventilatieschacht
2 Radioactiviteitsmetingen

Figuur 6.3.2/1 Nucleair ventilatiesysteem (TL), -princieschema-

Beveiliging en bewaking

De afgevoerde lucht uit alle ruimten in het reactorgebouw, het reactorhulpgebouw en de ringruimte alsmede de luchtafvoer door de ventilatieschacht worden bewaakt door deelstromen af te takken en langs radioactiviteitsmetingen (TL080) te voeren. Tevens wordt in de ventilatieschacht het debiet gemeten.

Plooiën van de stalen veiligheidsomhulling wordt verhinderd door een onderdrukbeveiliging, die door het automatisch openen van afsluiters lucht uit de ringruimte in de veiligheidsomhulling binnenlaat.

Alle delen van de ventilatiesystemen waarvan een gedeeltelijk of geheel uitvallen nadelig zou zijn voor de veiligheid van de gehele installatie, zijn redundant uitgevoerd en op het noodstroomnet aangesloten.

Ten behoeve van de brandbeveiliging sluiten de ventilatiekleppen automatisch en worden de ventilatiesystemen automatisch uitgeschakeld in geval van brand.

6.3.2.3 **Wijze van bedrijfsvoering**

Normaal bedrijf

Tijdens normaal reactorbedrijf worden verschillende ruimtes van de installatie op de juiste druk en de juiste temperatuur gehouden door de TL-deelsystemen en wordt de lucht gefilterd door het TL-systeem. De verdere (normale) werking van het TL-systeem wordt gestuurd door diverse temperatuur-, vochtigheids- en drukregelingen. Voor de regeling van de luchtcondities in de verschillende ruimtes zijn elektrische regelsystemen geïnstalleerd.

Bedrijf tijdens storingen en ongevallen

Bij een toename van de activiteit in de lucht van de veiligheidsomhulling, wordt de toe- en afvoer van de lucht bij de doorvoeringen van de veiligheidsomhulling afgesloten. Voor dat doel is aan de binnen- en buitenkant een snelsluitafsluiter aangebracht; deze afsluiters kunnen zich zonder dat daar ondersteunende energie voor nodig is, binnen 3 seconden sluiten. Ze zijn bestand tegen dynamische belastingen bij de te verwachten omgevingscondities en hebben dubbele afdichtingen. De kanalen die door de ringruimte voeren, zijn tegen de ontwerpdruk van de veiligheidsomhulling bestand.

Bij een ongeval waarbij de radioactiviteit en de druk in de veiligheidsomhulling stijgen, wordt de afzuiging van lucht uit de ringruimte (TL070) ingeschakeld die er voor zorgt dat in de ringruimte ten opzichte van de buitenlucht een onderdruk wordt gehandhaafd.

Alle ruimtes waarin componenten staan die gekoeld moeten blijven om te functioneren, zijn voorzien van een redundant koelsysteem. Deze treedt automatisch in werking indien het betreffende TL-deelsysteem uitvalt. Het koelsysteem bestaat met name uit een ventilator die de lucht in de desbetreffende ruimte door een koeler doet stromen.

6.3.2.4 **Veiligheidsbeschouwing**

Het luchttoevoersysteem (TL000) is nodig als beveiliging tegen een te hoge onderdruk in gebouw 01. Het systeem is nodig voor de beheersing van ontwerp-ongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De actieve componenten nodig voor de beheersing van deze ongevallen (ventilatoren en vacuümbrekers) zijn meervoudig uitgevoerd en voldoen aan dit criterium. Tevens voldoet de isolatie van de veiligheidsomhulling door het TL000-systeem aan dit criterium.

Het luchtafvoersysteem (TL010/020) is nodig als beveiliging tegen te hoge drukopbouw in de ringruimte. Op dit systeem is tevens het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De actieve componenten (ventilatoren en filtersysteem) zijn meervoudig uitgevoerd en voldoen aan dit criterium. Tevens voldoet de isolatie van de veiligheidsomhulling door het TL020-systeem aan dit criterium.

Het luchtventilatiesysteem van de installatieruimte (TL030) is nodig voor het tijdig detecteren van lekkages van de leidingen van het primair systeem die gekwalificeerd zijn voor het principe van “lek-voor-breuk” (zie paragraaf 5.9). Op dit systeem is tevens het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. Het systeem is meervoudig uitgevoerd en voldoet aan dit criterium.

Het luchtkoelsysteem van de bedrijfsruimte (TL040) is nodig voor het afvoeren van de warmte uit de bedrijfsruimte in de veiligheidsomhulling. Op dit systeem is tevens het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De luchtkoelers nodig voor het beheersen van de gemiddelde luchttemperatuur zijn meervoudig uitgevoerd en voldoen aan dit criterium.

Het luchtkoelsysteem van de ringruimte (TL050) is nodig voor het afvoeren van de warmte uit de ruimtes waarin de kerninundatiepompen (TJ) en de nakoelpompen (TJ) opgesteld staan. Op dit systeem is tevens het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De luchtkoelers zijn meervoudig uitgevoerd en voldoen aan dit criterium.

Het luchtkoelsysteem van de ringruimte (TL060) is nodig voor het afvoeren van de geproduceerde warmte uit de ruimtes waarin de volumeregelpompen (TA) en de SOB-koelpompen (TG) opgesteld staan. Tijdens ongevalsituaties is dit alleen voor het TA-systeem van toepassing. Op dit gedeelte van het TL060-systeem is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De luchtkoelers zijn meervoudig uitgevoerd en voldoen aan dit criterium.

De ringruimteafzuiging (TL070) is nodig om bij een ongeval een onderdruk in de ringruimte ten opzichte van de buitenlucht te onderhouden. Hiermee wordt bereikt dat eventueel ontsnappende radioactieve stoffen worden tegengehouden en alleen gefilterd en gecontroleerd aan de buitenlucht wordt afgegeven. Op dit systeem is tevens het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De ventilatoren zijn meervoudig uitgevoerd en voldoen aan dit criterium.

De isolatie van de veiligheidsomhulling door het onderdrukhoudsysteem van de installatieruimte (TL075) voldoet aan het enkelvoudig faalcriterium.

De veiligheidsrelevante componenten van het TL-systeem die nodig zijn voor het uitvoeren van de taken vermeld in paragraaf 6.3.2.1, zijn bestand tegen invloeden van binnenuit. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van deze delen tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Van het TL-systeem zijn de isolatieafsluiters voor het afsluiten van de veiligheidsomhulling en de doorvoeringen door de veiligheidsomhulling bestand tegen invloeden van buitenaf. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van deze delen tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

Het TL-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat gedurende 30 minuten na het begin van een ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het nucleair ventilatiesysteem zijn functies ten aanzien van het ontoelaatbaar vrijkomen van radioactieve stoffen (zowel op korte als op lange termijn) kan vervullen en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.3.2/1 Nucleair ventilatiesysteem (TL) met indicatieve componentgegevens

<u>Luchttoevoersysteem (TL000)</u>		
- Ventilatoren	2 x 100	%
- capaciteit bedrijfsruimte	10 000	m ³ /h
- capaciteit ringruimte	30 000	m ³ /h
- capaciteit reactorhulpgebouw	80 000	m ³ /h
<u>Luchtafvoersystemen</u>		
- capaciteit ventilatieschacht (TL010/020)	120 000	m ³ /h
- ventilatoren (TL020)	3 x 50	%
- capaciteit installatieruimte (TL075)	500-1000	m ³ /h
- capaciteit turbinecondensators (TL075)	300	m ³ /h
- ventilatoren (TL075)	2 x 100	%
- capaciteit ringruimte-afzuiging (TL070)	3000	m ³ /h
- ventilatoren (TL070)	2 x 100	%
- onderdruk in de ringruimte bij een koelmiddelverlies-ongeval	1	mbar
Filtercombinatie (TL075 en TL070): aërosol- en actiefkoolfilter		
- Werking afgiftefilters		
- halogenen (organisch)	99	%
- halogenen (anorganisch)	99,9	%
- aërosolen	99,90	%
<u>Luchtcirculatiesystemen</u>		
- capaciteit installatieruimte (TL030)	140 000	m ³ /h
- ventilatoren	3 x	50%
- circulatiedebiet installatieruimte over filter	5 000	m ³ /h
- capaciteit bedrijfsruimte (TL040)	21 000	m ³ /h
- ventilatoren	6 x 25	%
- capaciteit ringruimte (TL050/TL060)	25 000	m ³ /h
- ventilatoren TL050; kerninundatiepompen	4 x 50	%
- TL050; nakoelpompen	4 x 50	%
- TL060; volumeregelpompen	3 x 33	%
- TL060; SOB-koelpompen	2 x 50	%
<u>Werking circulatiefilters installatieruimte</u>		
- halogenen	90	%
- aërosolen	99	%
<u>Werking circulatiefilters gebouw 01</u>		
- halogenen (indien toegeschakeld)	90	%

6.3.3 **Kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ)**

6.3.3.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) behoort tot de veiligheidssystemen en is onderdeel van de nakoelketen. Deze bestaat uit het kerninundatie- en nakoelsysteem, het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) en het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF).

Het TJ-systeem heeft tot taak na koelmiddelverlies-ongevallen lekkages te compenseren, de concentratie van geboreerd water in het primair systeem te verhogen en de afvoer van restwarmte uit de reactor te verzorgen en langdurig te verzekeren. Bij transiënten moet het systeem, na afkoeling via de stoomgeneratoren, de verdere afkoeling verzorgen en de reactor indien noodzakelijk in de "koude, drukloze" toestand brengen en langdurig in deze toestand houden. Tijdens vermogensbedrijf staat het systeem stand-by. Bij het in en uit bedrijf nemen van de installatie en tijdens de splijststofwisseling wordt het voor bedrijfsvoeringstaken gebruikt.

Het TJ-systeem is in twee gescheiden strangen uitgevoerd met voor elke primaire koelkringloop een strang. In elke strang zijn de veiligheidstechnisch belangrijke pompen en afsluiters dubbel aanwezig. Daarbij zijn de TJ-pompen van een strang ruimtelijk gescheiden van de andere strang. De schakeling is zo ontworpen, dat in het geval van actief enkelvoudig falen (bijvoorbeeld het uitvallen van één van de pompen) beide strangen beschikbaar blijven.

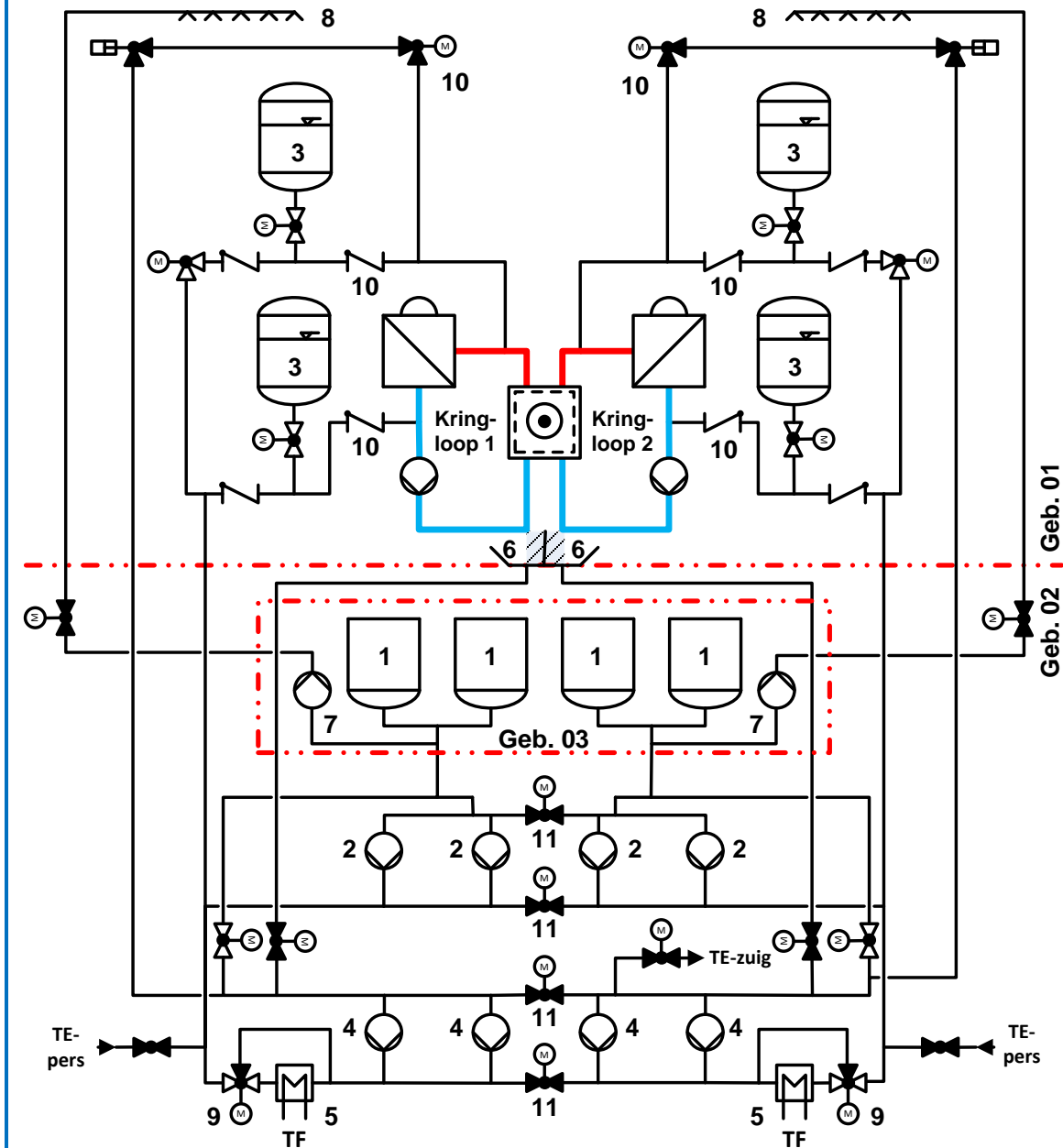
Iedere aansluiting van het TJ-systeem op het primair systeem is voorzien van een dubbele afsluiting.

Het ontwerp van het TJ-systeem wordt in belangrijke mate bepaald door de eisen die gesteld worden in verband met het beheersen van ongevallen met lekkages, waarbij deze kunnen variëren van kleine lekkages tot aan een guillotinebreuk (2F-breuk) in de hoofdkoelmiddelleiding.

Het TJ-systeem is niet ontworpen om te functioneren bij invloeden van buitenaf, maar het stelt andere systemen (bijvoorbeeld het TE-systeem) wel in staat om in die situatie de afvoer van restwarmte via het leidingsysteem van TJ te verzorgen. Dit gedeelte van het TJ-systeem is daarom wel bestand tegen de gevolgen van invloeden van buitenaf.

6.3.3.2 **Systeembeschrijving**

Het kerninundatie- en nakoelsysteem bestaat uit twee afzonderlijke strangen, waarbij in elke strang de veiligheidstechnisch belangrijke pompen en afsluiters redundant aanwezig zijn (zie figuur 6.3/1). Elk van de beide strangen is vast toegewezen aan een bepaalde kringloop van het primair systeem. Elke strang beschikt over twee kerninundatievoorradetanks, waarin zich de voorraden geboreerd water bevinden voor de HD- en LD-inundatie. Het HD-gedeelte van een strang bestaat uit twee kerninundatiepompen en de HD-inundatieleiding, die in de ringruimte aansluit op de bijbehorende strang van de LD-inundatie. De inundatie van het primair systeem gebeurt per strang via een gemeenschappelijke inundatieleiding.



In het schema zijn de stand van de afsluiters weergegeven tijdens vermogensbedrijf

1	Kerninundatievoorraadtank	10	Afsluiter primair systeem
2	Kerninundatiepomp	11	Scheidingafsluiters
3	Kerninundatiebuffertank	TF	NUCL. TUSSENKOEWATERSYSTEEM
4	Nakoelpomp	TE	RESERVENAKOELSYSTEEM
5	Nakoeler	Geb.01	Veiligheidsomhulling
6	Afvoerput reactorgebouw	Geb.02	Ringruimte
7	Sproeiomp	Geb.03	Reactorhulpgebouw
8	Sproeiinstallatie reactorgebouw		
9	Regelstation		

Figuur 6.3.3/1 Kerninundatie- en nakoelsysteem TJ – principeschema -

Het LD-gedeelte van een strang bestaat uit de zuigleiding, twee nakoelpompen, een nakoeler met aan de drukzijde een regelstation en de inundatieleiding. De zuigleiding kan aanzuigen uit de kerninundatievoorraadtanks, het primair systeem en de put van het reactorgebouw.

De gemeenschappelijke inundatieleiding van het HD- en LD-deel van een strang vertakt zich binnen de veiligheidsomhulling in een koude en een hete inundatieleiding. De koude inundatieleiding sluit aan op de hoofdkoelmiddelleiding tussen de stoomgenerator en de hoofdkoelmiddelpomp ("koude been"), de hete inundatieleiding sluit aan tussen de stoomgenerator en het reactorvat ("hete been"). De aansluiting van de inundatieleidingen op het primair systeem is uitgerust met minimaal twee afsluiters (terugslagkleppen en/of afsluiters).

Elk van de vier inundatieleidingen beschikt verder over een kerninundatiebuffertank.

In iedere strang takt een nakoelzuigleiding vanuit de hete inundatieleiding af naar de nakoelpomp, zodat hoofdkoelmiddel uit het hete been van het primair systeem kan worden aangezogen.

De verbindingen tussen het TJ-systeem en de primaire kringloop respectievelijk de put worden ook door het reservenakoelsysteem (TE) gebruikt als aanzuig- en terugvoerleiding. De aanzuigleiding van het reservenakoelsysteem bevindt zich in één van de twee strangen, vóór de nakoelpompen. De terugvoerleiding van het TE-systeem splitst zich en takt in achter de beide nakoelers. Indien het TE-systeem niet in werking is, zijn de aansluitleidingen door twee in serie geschakelde afsluiters afgesloten. Het TJ-leidinggedeelte (inclusief afsluiters) vanaf de intakking van het TE-systeem tot aan de primaire kringloop is bestand tegen invloeden van buitenaf.

Om het functioneren tijdens deellastbedrijf te waarborgen beschikken zowel de HD-kerninundatie- alsook de nakoelpompen over nullastleidingen, waardoor altijd voldoende doorstroming van de pomp gehandhaafd blijft.

Zowel het niveau in de kerninundatievoorraadtanks als het niveau en de druk in de kerninundatiebuffertanks worden bewaakt. Foutieve standen van motorgedreven afsluiters worden gemeld in de regelzaal.

De beschikbaarheid van een strang bij het uitvallen van een elektrische rail is gewaarborgd, doordat beide redundante pompen (zowel de HD als de LD) van een strang door verschillende elektrische redundancies worden gevoed. Bij een startweigering of uitval van een HD-pomp of bij het uitvallen van een rail, wordt automatisch op de reservepomp van die strang overgeschakeld. De LD-pompen starten alle vier, zodat bij uitval van een pomp of bij uitval van een rail steeds minimaal 1 pomp per strang beschikbaar is. Daarnaast wordt het HD- en het LD-systeem bij uitval van de normale stroomvoorziening door noodstroom gevoed.

De twee strangen zijn zowel aan zuigzijde als aan perszijde door leidingen met elkaar verbonden die normaal gesloten zijn door middel van scheidingafsluiters (zie figuur 6.3/1). Hierdoor bestaat de mogelijkheid om bij gebeurtenissen die de ontwerpcriteria overschrijden (buiten-ontwerp ongevallen), de scheiding van de strangen op te heffen.

Tenslotte kan het TJ-systeem via beide strangen vanuit de kerninundatievoorraadtanks geboreerd water bovenin de veiligheidsomhulling sproeien. Dit deel van het systeem heeft echter geen functie voor de beheersing van ontwerp-ongevallen.

6.3.3.3 **Wijze van bedrijfsvoering**

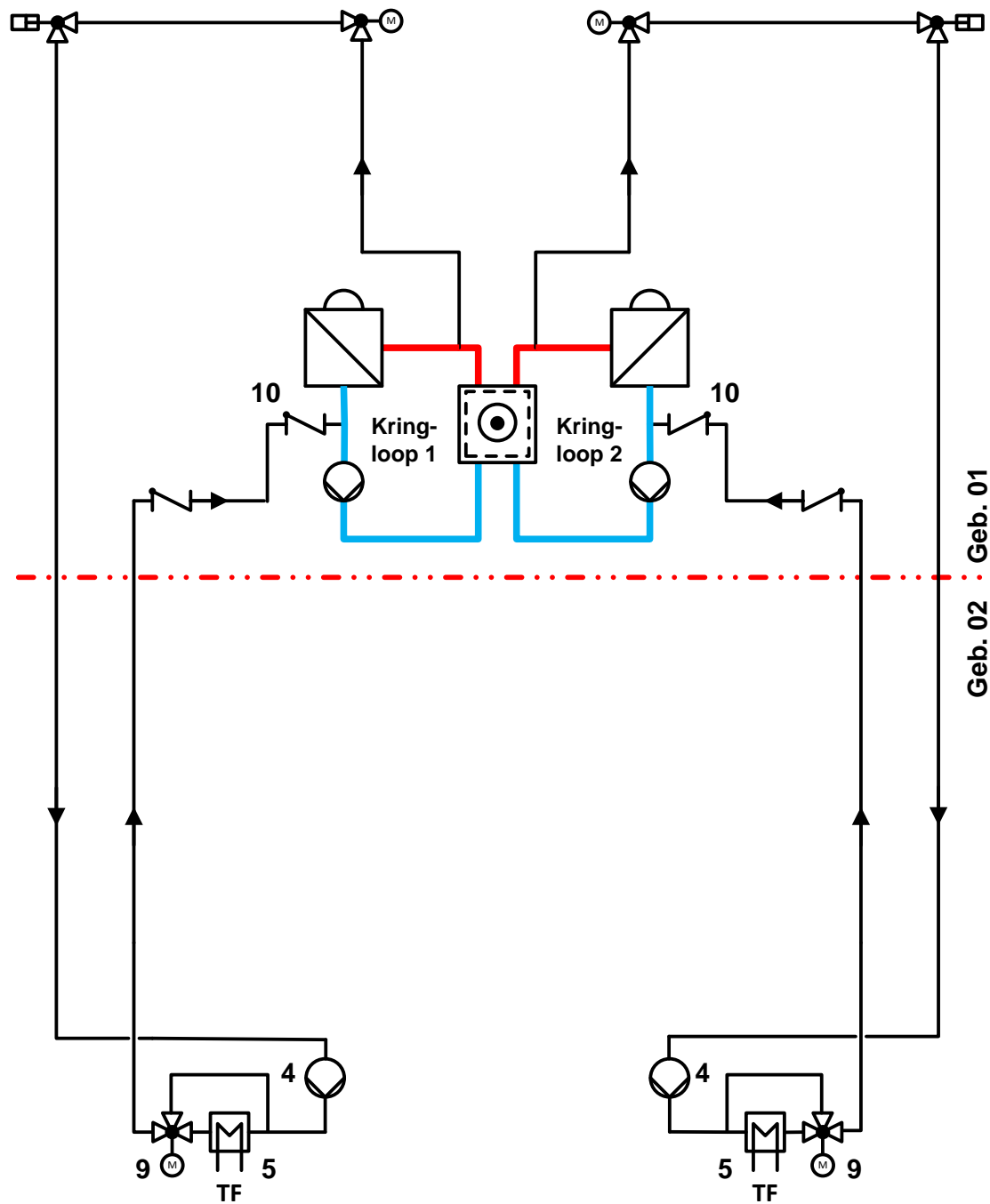
Normaal bedrijf

Tijdens vermogensbedrijf van de centrale staat het kerninundatie- en nakoelsysteem stand-by. Door de pompkeuzeschakelaar is per strang een kerninundatiepomp (HD) zodanig voorgeselecteerd voor

eventuele inzet, dat beide pompen door verschillende elektrische redundanties worden gevoed. Alle afsluiters in de inundatieleidingen zijn geopend. Deze leidingen worden van de druk van het primair systeem afgesloten door twee in serie geplaatste terugslagkleppen. De nakoelzuigleidingen zijn van deze druk afgesloten door twee in serie geplaatste afsluiters (zie figuur 6.3/1).

Bij nakoelbedrijf is de druk van het primair systeem verlaagd en worden de, tijdens vermogensbedrijf, gesloten afsluiters in de nakoelzuigleidingen geopend. Tevens worden de, tijdens vermogensbedrijf, geopende afsluiters in de hete inundatieleidingen en naar de kerninundatiebuffertanks gesloten. Nu kan de warmte van het primair systeem via de nakoelpompen naar de nakoelers worden afgevoerd (zie figuur 6.3/2). De afkoeling van het primair systeem vindt plaats met een geregelde temperatuursgradiënt.

De inundatie en het ledigen van het reactorbassin voor een splijtstofwisseling gebeuren via een controleleiding, waarbij geboreerd water door een kerninundatiepomp uit de kerninundatievoorraadtanks in het reactorbassin gepompt wordt, respectievelijk uit dit bassin in de tanks wordt teruggepompt.



4 Nakoelpomp	TF NUCL. TUSSENKOELWATERSYSTEEM
5 Nakoeler	Geb. 01 Veiligheidsomhulling
9 Regelstation	Geb. 02 Ringruimte
10 Afsluiter primair systeem	

Figuur 6.3.3/2 Kerninundatie- en nakoelsysteem TJ – nakoelbedrijf -

Tijdens vermogensbedrijf kan de werking van het kerninundatie- en nakoelsysteem tot aan de eerste afsluiters bij het primair systeem beproefd worden. Voor dit doel zijn er beproevingsleidingen aanwezig, die van de inundatieleidingen aftakken en teruglopen naar de kerninundatievoorraadtanks. Daarbij kunnen debiet, druk en afsluiterstanden gecontroleerd worden. Nadat de kerninundatiepompen of de nakoelpompen in bedrijf zijn geweest, wordt gecontroleerd of de terugslagkleppen goed gesloten zijn. De motorbediende afsluiters, die bij de aanvang van het putbedrijf geactiveerd moeten worden, worden eveneens aan periodieke functiecontroles onderworpen.

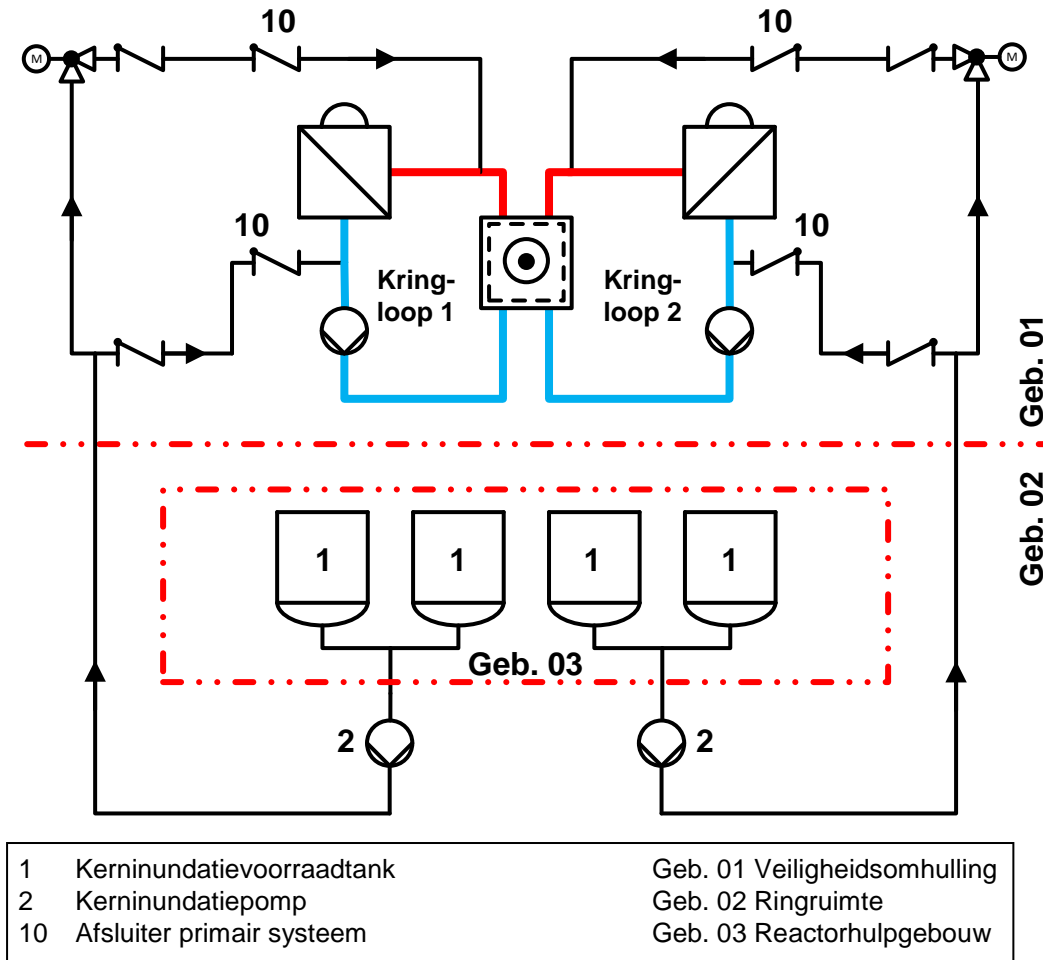
De geschiktheid van het systeem om te functioneren blijft tijdens de beproeving gehandhaafd, omdat indien nodig door automatische aansturing de oorspronkelijke toestand weer hersteld wordt en tevens de controleleiding wordt afgesloten.

De werking van het TJ-systeem met inbegrip van de terugslagkleppen (de eerste afsluitingen) bij het primair systeem wordt tijdens de inbedrijfname na een splijststofwisseling gecontroleerd.

HD-kerninundatie

Door het HD-kerninundatiesignaal (zie paragraaf 6.4.2, Reactorbeveiligingssysteem veiligheidssystemen) wordt in elke strang een kerninundatiepomp gestart. Indien nodig wordt automatisch overgeschakeld op de reservepomp van dezelfde strang. De pompen zuigen aan uit de kerninundatievoorraadtanks en inunderen in de koelkringloop heet- en koudzijdig via de inundatieleidingen (zie figuur 6.3/3).

In het ongunstigste geval kan de inundatiecapaciteit van een kerninundatiepomp via het lek verloren gaan (bijvoorbeeld bij een breuk van een inundatieleiding), zodat voor de kerninundatie alleen de pomp van de tweede strang effectief is. Het volume van de kerninundatievoorraadtanks en de pompcapaciteit zijn zodanig bemeten dat ook in deze situatie de kern voldoende gekoeld kan worden.



Figuur 6.3.3/3 Kerninundatie- en nakoelsysteem TJ – HD-kerninundatie -

Inundatie vanuit de kerninundatiebuffertanks

Het geboreerde water in de kerninundatiebuffertanks wordt door een stikstofkussen op druk gehouden. Deze tanks zijn via een terugslagklep met de inundatieleidingen verbonden. Wanneer de druk in het primair systeem lager wordt dan de stikstofdruk wordt het geboreerde water automatisch in het reactorkoelsysteem geperst. Bij het afschakelen van de reactor tijdens normaal bedrijf wordt inundatie voorkomen door sluiting van de, tijdens vermogensbedrijf, geopende kleppen van de kerninundatiebuffertanks.

LD-kerninundatie

Door het LD-kerninundatiesignaal (zie paragraaf 6.4.2, Reactorbeveiligingssysteem) worden in iedere LD-strang de twee nakoelpompen gestart. Samen met de kerninundatiepompen (die al gestart zijn op het HD-kerninundatiesignaal) zuigen de nakoelpompen aan uit de kerninundatievoorraadtanks totdat deze leeg zijn en wordt overgeschakeld op putbedrijf. Door de parallelle werking van de kerninundatiepompen en de nakoelpompen vindt geen overschakeling plaats van HD- naar LD-inundatiepompbedrijf, waardoor de continuïteit van de kerninundatie gewaarborgd is.

In het ongunstigste geval kan de inundatiecapaciteit van een nakoelpomp via het lek verloren gaan (bijvoorbeeld bij een breuk van een inundatieleiding), zodat voor de kerninundatie alleen de pomp van de tweede strang effectief is. Het volume van de kerninundatievoorraadtanks en de pompcapaciteit zijn zodanig bemeten dat ook in deze situatie de kern voldoende gekoeld kan worden.

Putbedrijf

Wanneer de kerninundatievoorraadtanks leeg zijn, wordt er op putbedrijf overgeschakeld. De reactorput bevindt zich onderin de veiligheidsomhulling. Het, uit het primair systeem, gelekte hoofdkoelmiddel en het geïnundeerde koelmiddel uit de kerninundatievoorraadtanks verzamelt zich in de reactorput. Bij putbedrijf wordt dit weggelekte koelmiddel aangezogen en geïnundeerd in het primair systeem.

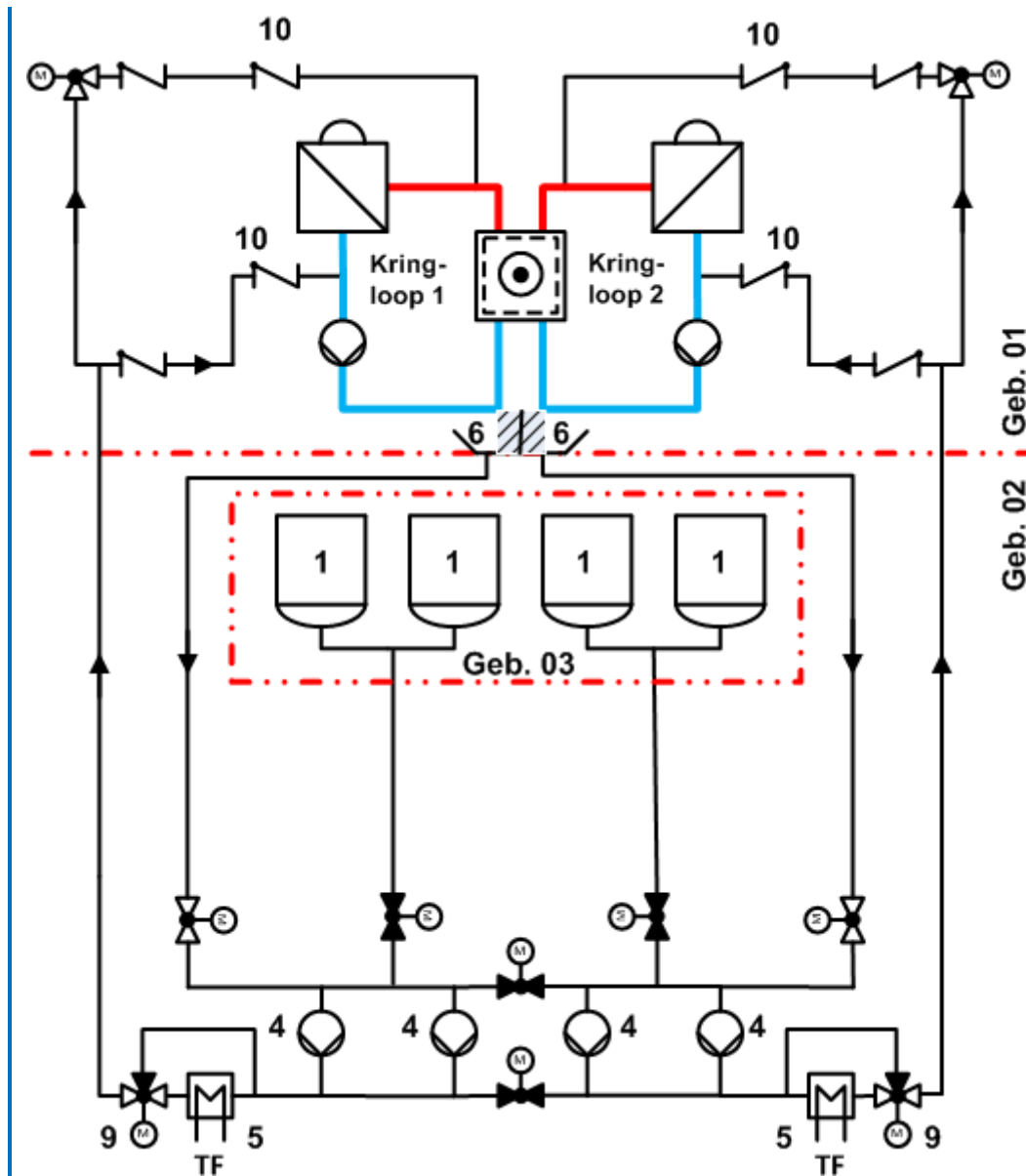
Omdat dit water vervuild kan zijn, is de reactorput voorzien van filters. Deze zouden echter op langere termijn kunnen verstopten. Om langdurig reactorputbedrijf te kunnen garanderen, is terugspoelen over de reactorputfilters mogelijk, zodat verstopping van de filters kan worden voorkomen dan wel kan worden opgeheven. Hiertoe is de aanzuigruijnte in de reactorput gescheiden in twee delen en zijn nauwkeurige ongevalsbestendige, drukverschilmetingen over de reactorputfilters geplaatst om een eventuele verstopping te kunnen detecteren.

Door het reactorbeveiligingssignaal "putbedrijf" (zie paragraaf 6.4.2 Reactorbeveiligingssysteem) worden:

- de zuigleidingen van de kerninundatievoorraadtanks gesloten;
- de aanzuigleidingen uit de put van het reactorgebouw geopend.

De kerninundatiepompen worden gestopt door het bedrijfssignaal "laag niveau kerninundatievoorraadtanks".

De nakoelpompen zuigen dan uit de put aan en voeren het koelmiddel weer terug naar het primair systeem, nadat het is afgekoeld in de nakoeler (zie figuur 6.3/4).



1	Kerninundatievoorraadtank	10	Afsluiter primair systeem
4	Nakoelpomp	TF	NUCL. TUSSENKOELWATERSYSTEEM
5	Nakoeler		
6	Afvoerput reactorgebouw	Geb. 01	Veiligheidsomhulling
9	Regelstation	Geb. 02	Ringruimte

Figuur 6.3.3/4 Kerninundatie- en nakoelsysteem TJ – putbedrijf –

Gecombineerd put- en nakoelbedrijf

Deze wijze van bedrijfsvoering is noodzakelijk bij kleine lekkages, waarbij de afvoer van de warmte via het lek geen voldoende kernkoeling waarborgt. Door de scheiding van het LD-kerninundatiesysteem in twee strangen is het mogelijk, één strang op lekcompensatie (putbedrijf) te schakelen en de andere op nakoelbedrijf.

Bij het uitvallen van een strang op de lange termijn kan met de intact gebleven strang beurtelings-put- en nakoelbedrijf gevoerd worden.

Sproeien in de gebouwen

Voor het beheersen van koelmiddelverlies-ongevallen is het niet noodzakelijk het gebouwspoeisysteem in te zetten. Tijdens ernstige ongevallen kunnen de druk en de hoeveelheid eventueel vrijgekomen aërosolen in de veiligheidsomhulling verlaagd worden, door dit systeem handmatig bij te schakelen.

6.3.3.4 Veiligheidsbeschouwing

Het TJ-systeem is nodig voor de beheersing van ontwerp-ongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De actieve componenten nodig voor de beheersing van deze ongevallen voldoen aan dit criterium.

Het TJ-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na begin van het ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

De strangen van het TJ-systeem zijn gescheiden uitgevoerd. Daarbij zijn de TJ-pompen van een strang ruimtelijk gescheiden van de andere strang. Hierdoor wordt falen door een gemeenschappelijk oorzaak beperkt. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het TJ-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het TJ-systeem is in principe niet ontworpen tegen invloeden van buitenaf. Echter het TJ-leidingsysteem (inclusief afsluiters) dat nodig is om andere systemen in deze situatie de restwarmte te laten afvoeren dient dit wel te zijn. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van dit deel van het TJ-systeem tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het TJ-systeem zijn functies (zowel op korte als lange termijn) kan vervullen en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.3.3/1 Kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) met indicatieve componentgegevens

<u>Kerninundatievoorraadtank</u>		
- aantal	4	
- watervolume (per strang)	min. 330	m ³ geboreerd water
<u>Kerninundatiebuffertank</u>		
- aantal	4	
- watervolume (per strang)	min. 41	m ³ geboreerd water
- bedrijfsdruk	25	bar
<u>Nakoelpomp</u>		
- aantal	4	
- maximale persdruk	9	bar
- debiet / druk	465	m ³ /h bij 8,1 bar
<u>Kerninundatiepomp</u>		
- aantal	4	
- maximale persdruk	110	bar
- debiet / druk	190	m ³ /h bij 65 bar
<u>Nakoeler</u>		
- aantal	2	
- warmtecapaciteit (ontwerp)	20	MW
<u>Sproeipomp</u>		
- aantal	2	
- maximale persdruk	14	bar
- debiet / druk	50	m ³ /h bij 13 bar

6.3.4 Primair reservesuppletiesysteem (TW)

6.3.4.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Bij het uitvallen van bepaalde bedrijfssystemen, te weten het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB), als gevolg van bijvoorbeeld invloeden van buitenaf, heeft het primair reservesuppletiesysteem (TW) drie functies:

- inundatie van geboreerd water in het primair systeem;
- drukverlaging in het primair systeem door sproeien in de drukhouder;
- lekcompensatie in het primair systeem.

Het primair reservesuppletiesysteem is nodig bij:

- invloeden van buitenaf.

Het ontwerp van het primair reservesuppletiesysteem is gebaseerd op de volgende eisen:

- beheersing van lekkages van het primair systeem, in combinatie met het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- tijdens en na invloeden van buitenaf het zeker stellen van de onderkriticaliteit op lange termijn door middel van het compenseren van de contractie van het hoofdkoelmiddel ten gevolge van het optreden van secundaire lekkages; deze functie kan vervuld worden gedurende tenminste 10 uur zonder dat menselijk ingrijpen noodzakelijk is. Hierbij blijft de primaire druk gehandhaafd;
- afschakelen en in een onderkritische toestand brengen en houden van de reactor, wanneer het volumeregelsysteem (TA) en het chemicaliëndoseersysteem (TB) niet beschikbaar zijn; deze functie wordt vervuld in combinatie met de regelementen;
- het verlagen van de druk van het primair systeem door sproeien in de drukhouder;
- inundatie tegen de volle reactordruk in, bijvoorbeeld in het geval van ATWS.

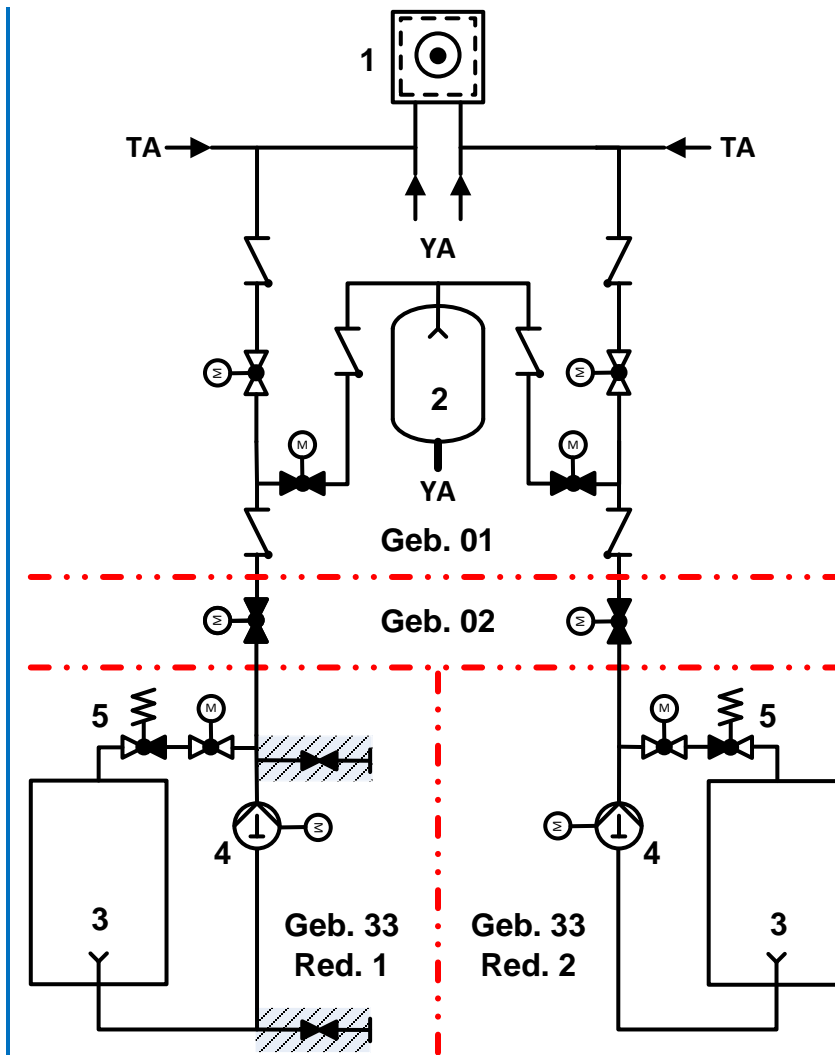
Het TW-systeem heeft geen bedrijfsmatige functie.

6.3.4.2 Systeembeschrijving

Het primair reservesuppletiesysteem is in twee redundante strangen uitgevoerd die ruimtelijk gescheiden in afzonderlijke ruimten in het reservesuppletiegebouw (33) zijn ondergebracht (zie figuur 6.3.4/1).

Een strang bestaat uit:

- een bassin met geboreerd water;
- een suppletiepomp;
- een terugstroomleiding met overstortventiel en afsluiter voor begrenzing van de druk;
- een inundatieleiding naar het primair systeem (via de aansluiting van het volumeregelsysteem) en een zich daarvan afsplitsende sproeileiding naar de drukhouder. Deze twee leidingen zijn elk voorzien van een motorbediende afsluiter, waarmee overgeschakeld kan worden op inundatie in het primair systeem respectievelijk sproeien in de drukhouder. Als eerste afsluiting naar het primair systeem toe bevinden zich in de sproei- en inundatieleidingen terugslagkleppen. Daarnaast bevindt zich in de inundatieleiding naar het primair systeem nog een tweede terugslagklep.



- 1 Reactor
- 2 Drukhouder
- 3 Bassin met geboreerd water
- 4 Suppletiepomp
- 5 Overstortventiel

TA VOLUMEREGELSYSTEEM
YA HOOFDKOELMIDDELLEIDINGEN

Geb. 01 Veiligheidsomhulling
Geb. 02 Ringruimte
Geb. 33 Reservesuppletiegebouw

Figuur 6.3.4/1 Primair reserve suppletiesysteem TW - prinsipeschema -

Het TW-systeem beschikt over eigen instrumentarium, watervoorraden en stroomverzorging. Het TW-systeem wordt bij uitval van de normale stroomvoorziening door het noodstroomnet 2 gevoed.

In geval van een volledige uitval van wisselstroom is er een voorziening aangebracht om, als Accident Management (AM) maatregel, additioneel water in het primair systeem te kunnen injecteren. Hiertoe is een extra aansluiting aangebracht waarmee een externe pomp (bijvoorbeeld een brandweerpomp) op de perszijdige leiding direct in het primaire systeem water kan injecteren. Zuigzijdig is een aansluiting aangebracht om geboreerd water uit het bassin te kunnen onttrekken.

Het TW-systeem met aansluitende leidingen bevindt zich in de gebouwen 01, 02 en 33, die allen bestand zijn tegen invloeden van buitenaf. Het TW-systeem zelf is ontworpen om te functioneren bij invloeden van buitenaf. Daarmee is het systeem beschermd tegen invloeden van buitenaf en onafhankelijk van de situatie in de overige gebouwen.

6.3.4.3 **Wijze van bedrijfsvoering**

Normaal bedrijf

Tijdens vermogensbedrijf van de installatie staat het TW-systeem stand-by.

Bedrijf tijdens storingen en ongevallen

Het TW-systeem wordt automatisch gestart door het reactorbeveiligingssysteem op grond van de noodkoelcriteria (suppletie in het reactorkoelsysteem) of hoofdstoomactiviteitsmetingen (sproeien in de drukhouder, in verband met een breuk van U-pijpen van een stoomgenerator, zie paragraaf 6.4.2).

Bijschakeling van het TW-systeem kan handmatig plaatsvinden bij ATWS.

Door het signaal "bijschakelen TW", dat door het reactorbeveiligingssysteem wordt afgegeven, worden beide strangen geactiveerd. Door de uitgangspositie van de afsluiters behoeven alleen nog maar de in de inundatieleidingen aanwezige motorbediende afsluiters opengestuurd en de suppletiepompen ingeschakeld te worden. De druk wordt beperkt door het overstortventiel in de terugstroomleidingen (zie figuur 6.4/1).

Bij het uitblijven van een snelle afschakeling van de reactor (ATWS) kunnen de terugstroomleidingen handmatig gesloten worden vanuit de regelzaal of de reserveregelzaal, zodat er inundatie tegen de volle druk in het primair systeem plaats kan vinden.

Indien bij een geopend primair systeem een invloed van buitenaf optreedt (uitvallen van de "Ultimate Heat Sink") kan het TW-systeem ingezet worden voor het afvoeren van de restwarmte door verdamping van hoofdkoelmiddel in de veiligheidsomhulling. Verder kan het TW-systeem tijdens de splijtstofwisselperiode, bij verlaagd waterniveau in het primair systeem, ingezet worden in het kader van accident management (AM) voor compensatie van eventuele lekkages.

6.3.4.4 **Veiligheidsbeschouwing**

Het TW-systeem is nodig voor de beheersing van ontwerp-ongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. Het TW-systeem is redundant uitgevoerd en voldoet daarmee aan dit criterium.

Het TW-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na het begin van het ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

Iedere redundantie heeft voldoende voorraad geboreerd water om gedurende tenminste 10 uur te kunnen inunderen in het primair systeem of sproeien in de drukhouder.

De beide redundante strangen zijn zodanig ruimtelijk gescheiden, dat storingen in één strang de goede werking van de andere strang niet nadelig kunnen beïnvloeden. Hiermee is het TW-systeem bestand tegen invloeden van binnenuit (zie paragraaf 5.9).

Het TW-systeem is ontworpen tegen invloeden van buitenaf en is gehuisvest in gebouwen die hier eveneens tegen bestand zijn. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van het TW-systeem tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het TW-systeem zijn functies (zowel op korte als lange termijn) kan vervullen en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.3.4/1 Primair reservesuppletiesysteem (TW) met indicatieve componentgegevens

Bassin met geboreerd water

- aantal	2	
- inhoud	250	m ³

Suppletiepomp

- aantal	2	
- type	zuigerpomp	
- capaciteit	19	m ³ /h
- maximale persdruk	185	bar

Overstortventiel

- aantal	2	
- ingestelde voordruk	140	bar

6.3.5 **Reserve nakoelsysteem (TE)**

6.3.5.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Het reserve nakoelsysteem (TE) heeft tot taak de warmte vanuit het primair systeem af te voeren naar het reserve noodkoelwatersysteem (VE), indien de normale nakoelketen via het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) en het nood-en nevenkoelwatersysteem (VF) langdurig niet beschikbaar is door invloeden van buitenaf of doordat deze systemen anderszins niet beschikbaar zijn.

Het TE-systeem maakt onderdeel uit van de reservekoelketen. De reservekoelketen bestaat uit de volgende systemen:

- reserve nakoelsysteem (TE);
- reserve bassinkoelsysteem (TG080), dat onderdeel uit maakt van het splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG);
- reserve noodkoelwatersysteem (VE).

De warmteafvoer van het primair systeem met het TE-systeem vindt plaats via het leidingsysteem van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ). Het betreffende deel is bestand tegen invloeden van buitenaf (zie paragraaf 6.3.3).

Uitgangspunt voor het ontwerp van het TE-systeem is functioneren bij invloeden van buitenaf. Deze ongevallen worden gerekend tot de zeldzame voorvallen, waardoor het TE-systeem niet aan het enkelvoudig faalcriterium hoeft te voldoen (zie paragraaf 5.1).

Het TE-systeem is zodanig ontworpen dat het de vrijkomende warmte van het primair systeem vanaf circa 13 uur na reactorsnelafschakeling (RESA) af kan voeren. De benodigde condities van het primair systeem voor warmteafvoer via het TE-systeem zijn:

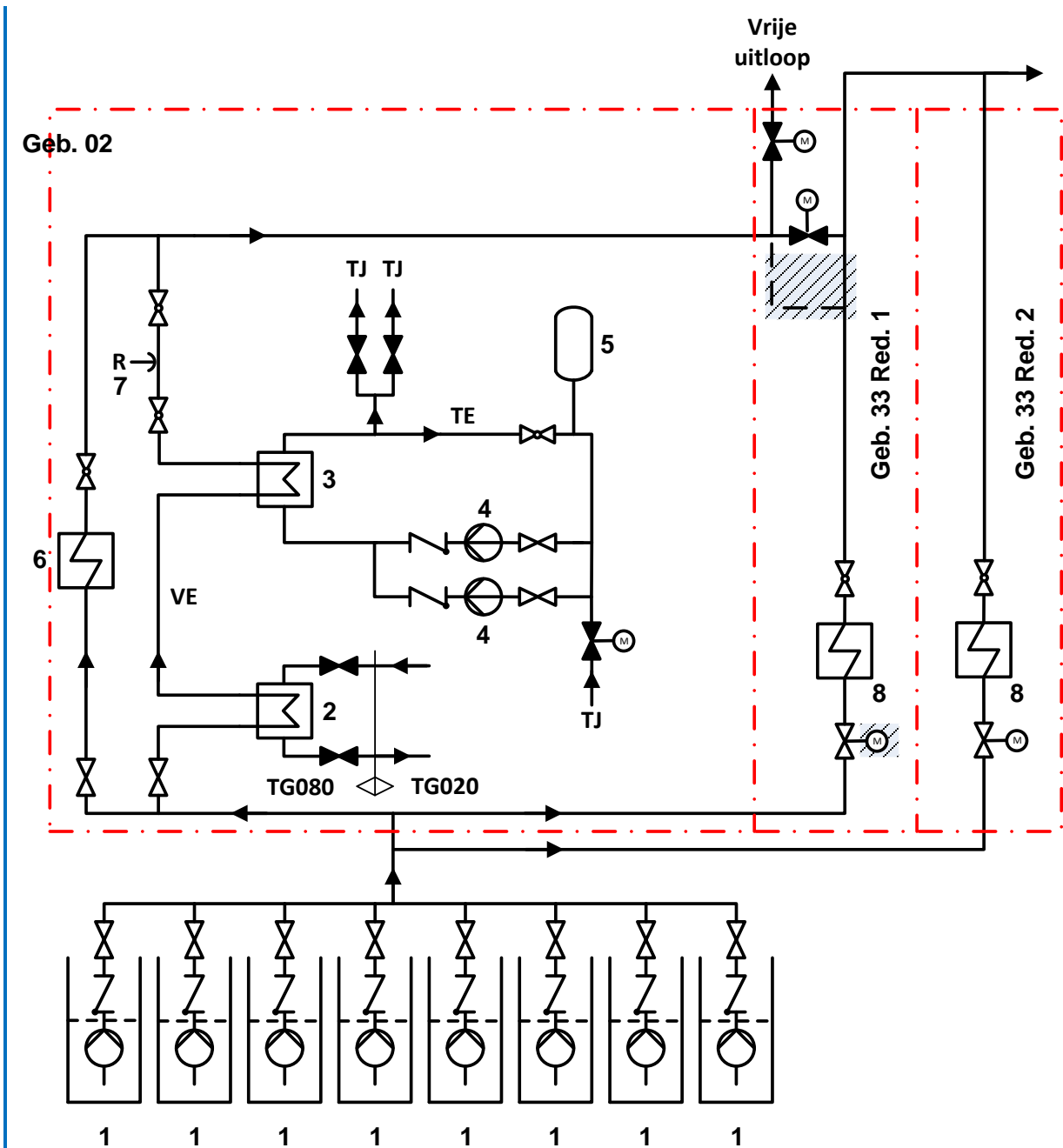
- primaire druk ≤ 13 bar en
- primaire temperatuur ≤ 120 °C.

Het TE-systeem heeft geen bedrijfsmatige functie.

6.3.5.2 **Systeembeschrijving**

Het TE-systeem is éénstrangig opgebouwd en bestaat uit twee reservenakoelpompen, een expansievat en een warmtewisselaar. Het systeem is aangesloten op het primaire systeem via het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), zie figuur 6.3.5/1 en figuur 6.3.3/1. De vervalwarmte van de reactorkern wordt via de warmtewisselaar afgevoerd naar het VE-systeem. Hiervoor is het functioneren van één reservenakoelpomp voldoende. De tweede pomp is voorzien als onderhoudsreserve. In het kader van Accident Management (AM) kan deze pomp gebruikt worden als redundantie. De geproduceerde warmte van een reservenakoelpomp wordt via een eigen motorkoeler afgevoerd naar het VE-systeem.

Het TE-systeem en de elektrische componenten van het TJ-systeem die benodigd zijn voor TE-bedrijf worden bij uitval van de normale stroomvoorziening gevoed door noodstroomnet 2 dat ook bestand is tegen invloeden van buitenaf.



1	Bron met reserve-noodkoelwaterpomp (VE)	SOB	SPLIJTSTOFOPSLAGBASSIN
2	Reserve SOB-koeler (TG080)	TE	RESERVE NAKOELSYSTEEM
3	Reserve nakoeler (TE)	TG020	SOB-KOELSYSTEEM
4	Reserve nakoelpomp (TE)	TG080	RESERVE SOB-KOELSYSTEEM
5	Expansievat (TE)	TJ	KERNINUNDATIE- EN NAKOELSYSTEEM
6	Koeler van de reserve nakoelpomp	VE	RESERVE NOODKOELWATERSYSTEEM
7	Activiteitsmeting	VC	HOOFDKOELWATERSYSTEEM
8	RS-reservetussenkoeler	Geb.02	Ringruimte
		Geb.33	Reservesuppletiegebouw

Figuur 6.3.5/1 Reservekoelketen (TE, TG080, VE) – prinsieschema -

6.3.5.3 Wijze van bedrijfsvoering

Normaal bedrijf

Tijdens vermogensbedrijf van de centrale staat het TE-systeem stand-by.
De leidingen voor toe- en afvoer van het TE-systeem naar het TJ-systeem zijn afgesloten.

Uitval normale nakoelketen

Als de normale nakoelketen niet functioneert, kan de warmte van het primair systeem (zowel bij gesloten reactorvat als bij open reactorvat) vanaf circa 13 uur na reactorsnelafschakeling (RESA) afgevoerd worden met het TE-systeem. Voor warmteafvoer van het primair systeem dient de primaire druk ≤ 13 bar te zijn en de primaire temperatuur ≤ 120 °C te zijn.

De inbedrijfname van het TE systeem vindt plaats in de reserveregelzaal (aansturing van pompen) en ter plaatste (bedienen van afsluiters).

6.3.5.4 Veiligheidsbeschouwing

Het TE-systeem is nodig indien de normale nakoelketen langdurig niet beschikbaar is door invloeden van buitenaf of doordat de normale nakoelketen anderszins niet beschikbaar is. Deze situaties worden gerekend tot de zeldzame voorvallen, waardoor geen enkelvoudig falen verondersteld hoeft te worden (zie paragraaf 5.1).

Het TE-systeem is enkelvoudig uitgevoerd. Een uitzondering hierop betreft de reserve-nakoelpompen (TE) die dubbel uitgevoerd zijn. Er is geen sprake van ruimtelijke scheiding.

Het TE-systeem is bestand tegen invloeden van binnenuit. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het TE-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het TE-systeem is ontworpen tegen invloeden van buitenaf en is gehuisvest in gebouwen die hier eveneens tegen bestand zijn. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van het TE-systeem tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het TE-systeem zijn functie (afvoer van vervalwarmte op lange termijn) na het optreden van een aardbeving kan vervullen.

Tabel 6.3.5/1 Reservenakoelketen (TE) met indicatieve componentgegevens

<u>Reservenakoeler</u>		
- aantal	1	
- warmte-afvoercapaciteit	9,7	MW
<u>Reserve-nakoelpomp</u>		
- aantal	2	
- nominale capaciteit	210	m ³ /h

6.3.6 **Reserve noodkoelwatersysteem (VE)**

6.3.6.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Het VE-systeem vormt de laatste schakel in de voor de veiligheid belangrijke reservekoelketen. De reservekoelketen bestaat uit de volgende systemen (zie figuur 6.3.5/1):

- reserve nakoelsysteem (TE);
- reserve bassinkoelsysteem (TG080);
- reserve noodkoelwatersysteem (VE).

Het reserve noodkoelwatersysteem (VE) heeft tot taak de warmte af te voeren uit het primair systeem (via het reserve nakoelsysteem) en uit het splijtstofopslagbassin (via het reserve bassinkoelsysteem) indien de normale nakoelketen via het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) en het nood-en nevenkoelwatersysteem (VF) langdurig niet beschikbaar is door invloeden van buitenaf of doordat deze systemen anderszins niet beschikbaar zijn. Daarnaast kan het VE-systeem langdurig de koeling van de dieselaggregaten en de ruimten van het reservesuppletiegebouw en van het reserveregelzaalgebouw via de koeling van de RS-bassins verzorgen.

Uitgangspunt voor het ontwerp van het VE-systeem is het functioneren tijdens invloeden van buitenaf. Deze ongevallen worden gerekend tot de zeldzame voorvallen, waardoor het VE-systeem éénstrangig opgebouwd is (zie paragraaf 5.1).

Het VE-systeem heeft geen bedrijfsmatige functie.

6.3.6.2 **Systeembeschrijving**

Het VE-systeem bestaat uit een broninstallatie met 8 pompen en pijpleidingen die het bronwater uit de grond opzuigen en naar de koelers leiden. Omdat het bronwater chloor bevat, zijn de koelers van het systeem uitgevoerd met titaan; pijpleidingen, pompen en afsluiters zijn eveneens corrosievast uitgevoerd.

Het VE-systeem levert koelwater aan:

- de reservenkoeler (TE);
- de motorkoelers van de reserve-nakoelpompen (TE);
- de reserve-SOB-koeler (TG);
- de RS-reservetussenkoelers.

Teneinde vast te kunnen stellen of er een lekkage is opgetreden van de reservenkoeler of de reserve-SOB-koeler is er een activiteitsmeting in het VE-systeem opgenomen.

Nadat het bronwater op eventuele radioactiviteit is gecontroleerd, wordt het afgevoerd via de afvoerleiding van het hoofdkoelwatersysteem (VC) naar de Westerschelde. Als deze afvoer niet beschikbaar is, wordt gebruik gemaakt van een vrije uitloop, waarbij het bronwater op het centrale terrein wordt geloosd.

Het aantal bronnen respectievelijk bronpompen is toereikend voor het geval dat twee pompen niet beschikbaar zijn, bijvoorbeeld als gevolg van uitval van één pomp en onderhoud van een andere pomp.

Het VE-systeem wordt bij uitval van de normale stroomvoorziening gevoed door noodstroomnet 2 dat ook bestand is tegen invloeden van buitenaf.

6.3.6.3 Wijze van bedrijfsvoering

Normaal bedrijf

Tijdens vermogensbedrijf van de installatie staat het VE-systeem stand-by.

Uitval normale nakoelketen

Als de normale nakoelketen niet functioneert, kan de warmte van het primair systeem (zowel bij gesloten reactorvat als bij open reactorvat), het splijststofopslagbassin, de RS-diesels, de RS-diesel- en generatorruimten en de electronicaruimten in gebouw 33/35 afgevoerd worden met het VE-systeem. Voor warmteafvoer van het primair systeem via het VE-systeem dient de primaire druk ≤ 13 bar te zijn en de primaire temperatuur ≤ 120 °C te zijn (zie paragraaf 6.3.5.3).

Het VE-systeem kan zowel vanuit de regelzaal als vanuit de reserveregelzaal in bedrijf worden genomen (aansturing van pompen). De afsluiters van het VE-systeem staan reeds in de vereiste positie voor het in bedrijf komen van het systeem.

Indien bij een invloed van buitenaf de temperatuur in gebouw 33 of splijststofopslagbassin te ver oploopt, wordt het VE-systeem automatisch gestart ten behoeve van de koeling van gebouw 33 en/of het splijststofopslagbassin (via het reserve splijststofopslagbassinkoelsysteem). Door het automatisch starten wordt verzekerd dat de installaties in gebouw 33 langer dan 10 uur ongestoord in bedrijf kunnen blijven.

6.3.6.4 Veiligheidsbeschouwing

Het VE-systeem is nodig indien de normale nakoelketen langdurig niet beschikbaar is door invloeden van buitenaf of doordat de normale nakoelketen anderszins niet beschikbaar is. Deze situaties worden gerekend tot de zeldzame voorvallen, waardoor geen enkelvoudig falen verondersteld hoeft te worden.

Het VE-systeem is enkelvoudig uitgevoerd. Als twee reserve-noodkoelpompen (VE) niet beschikbaar zijn kan nog voldoende koelcapaciteit geleverd worden.

Het VE-systeem is bestand tegen invloeden van binnenuit. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het VE-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het VE-systeem is ontworpen tegen invloeden van buitenaf. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van het VE-systeem tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het VE-systeem zijn functie (afvoer van vervalwarmte op lange termijn) na het optreden van invloeden van buitenaf kan vervullen.

Tabel 6.3.6/1 Reservekoelketen (VE) met indicatieve componentgegevens

Reserve noodkoelwaterpomp

- aantal pompen	8	
- debiet / druk	40	m ³ /h bij 11,8 bar

Reservetussenkoeler (RS)	zie paragraaf 6.3.8
--------------------------	---------------------

Reservenakoeler (TE)	zie paragraaf 6.3.5
----------------------	---------------------

Reserve-bassinkoelsysteem (TG080)	zie paragraaf 6.9.2
-----------------------------------	---------------------

6.3.7 **Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL)**

6.3.7.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL) heeft tot taak de stoomgeneratoren te voorzien van een aan het reactorvermogen aangepaste hoeveelheid voedingswater. In het vermogensgebied van 3 - 100 % is het hoofdvoedingswatersysteem in bedrijf, beneden een vermogen van 3 % en bij het in en uit bedrijf nemen van de centrale is dat het noodvoedingswatersysteem. De stoomgeneratoren zijn voorzien van een beveiliging tegen overvullen.

Als het hoofdvoedingswatersysteem uitvalt wordt de voeding van de stoomgeneratoren overgenomen door het noodvoedingswatersysteem. Het hiervoor benodigde water wordt betrokken uit de voedingswatertank of uit het deminwatersuppletiesysteem (RZ). Met behulp hiervan kan de centrale in een veilige toestand gehouden worden, waarbij de afvoer van restwarmte plaats vindt via de secundaire zijde. Indien het primair systeem voldoende afgekoeld is kan het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) de koeling overnemen.

De capaciteit van de noodvoedingswaterpompen is gebaseerd op het uit bedrijf nemen van de installatie met een gradiënt van 100 K/h na een klein lek in het reactorkoelsysteem, waarbij met enkelvoudig falen rekening is gehouden.

Na een breuk in de leidingen van het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem blijven zowel de afvoer van de restwarmte via de stoomgeneratoren alsook de mogelijkheid tot voeding via het reservesuppletiesysteem (RS) gehandhaafd.

Het RL-systeem is niet ontworpen om te functioneren bij invloeden van buitenaf, maar het stelt het secundair reservesuppletiesysteem (RS) wel in staat om in die situatie de stoomgeneratoren via een deel van het leidingsysteem van RL te voeden. Dit gedeelte van het RL-systeem is bestand tegen de gevolgen van invloeden van buitenaf.

6.3.7.2 **Systeembeschrijving**

Het RL-systeem bestaat in hoofdzaak uit:

- de voedingswatertank;
- 3 hoofdvoedingswaterpompen;
- 3 noodvoedingswaterpompen;
- voedingswaterregelafsluiters.

Voedingswatertank

Het hoofdcondensaat afkomstig van het hoofdcondensaatsysteem (RM) wordt in de voedingswatertank gespreid, waardoor het onder invloed van toegevoerde verwarmingsstoom ontgast wordt. Hierna wordt het hoofdcondensaat, voedingswater genoemd.

Ten behoeve van het afvoeren van niet-condenseerbare gassen zijn op de voedingswatertank diverse ontgassingsleidingen aangebracht. Deze gassen worden via de afvoer van de condensorafzuiging afgevoerd (zie paragraaf 6.7).

De voedingswatertank is van twee hoofdveiligheidskleppen voorzien, die opengaan indien de druk te hoog wordt. De stoom wordt daarbij via het dak afgeblazen totdat de druk voldoende gedaald is. Het mogelijke afblaasdebiet komt overeen met het maximale stoomdebiet dat toegevoerd kan worden aan de voedingswatertank.

Het voedingswater wordt verwarmd met behulp van aftapstoom, afkomstig van de waterafscheider van de turbine. Deze stoom wordt via een verdeelbalk onder het vloeistofniveau in de

voedingswatertank gevoerd. Na een stilstandperiode wordt de verwarmingsstoom geleverd door het hulpstoomsysteem (RQ) dat de stoom in eerste instantie betreft van een hulpketel en na het opstarten van de centrale door de stoomgeneratoren.

De voorraad voedingswater in de voedingswatertank is voldoende voor ongeveer 6 minuten bedrijf bij vol vermogen indien geen water toegevoerd wordt.

Hoofdvoedingswatersysteem

Het voedingswater wordt via drie parallelle leidingen door de drie hoofdvoedingswaterpompen aangezogen uit de voedingswatertank en in een verzamelleiding gepompt, van waaruit de verdeling over beide HD-voorwarmstraten volgt. In de voorwarmstraten wordt het hoofdvoedingswater opgewarmd met aftapstoom van de HD-trap van de turbine.

Tijdens normaal bedrijf zijn twee van de drie hoofdvoedingswaterpompen voldoende, de derde wordt automatisch bijgeschakeld als een pomp uitvalt. Elk van de hoofdvoedingswaterpompen bestaat uit een ééntraps voerpomp en een viertraps hoofdpomp. De voerpomp is via een tandwieloverbrenging en de hoofdpomp direct aan de aandrijfmotor gekoppeld. In de persleidingen van de hoofdpompen zijn debietmeters aangebracht.

Na de voorwarmers worden de leidingen weer samengevoegd. Voordat de leiding het machinegebouw verlaat, splitst deze zich in twee takken naar beide stoomgeneratoren. In het machinegebouw zijn in beide takken de voedingswaterregelafsluiters aangebracht. De voedingswaterleidingen lopen vervolgens over het dak van het reactorhulpgebouw naar het reactorgebouw.

In de ringruimte worden de voedingswaterleidingen door mantelbuizen geleid, om nadelige gevolgen voor de ringruimte in geval van een lekkage te vermijden. Het gedeelte van de voedingswaterleidingen binnen de veiligheidsomhulling is zodanig uitgevoerd dat het optreden van een rondgaande scheur (de zogenaamde 2F-breuk) uitgesloten is (zie paragraaf 5.9.1). Om bij storingen van de voedingwaterregelafsluiters in het machinegebouw (04) de stoomgeneratoren te beschermen tegen een te grote watertoevoer, zijn er binnen de veiligheidsomhulling vóór de terugslagkleppen extra afsluiters aangebracht.

Daarnaast zijn er voor beide stoomgeneratoren watersloten aangebracht, om te waarborgen dat de voedingswaterleidingen te allen tijde gevuld zijn met water.

Noodvoedingswatersysteem

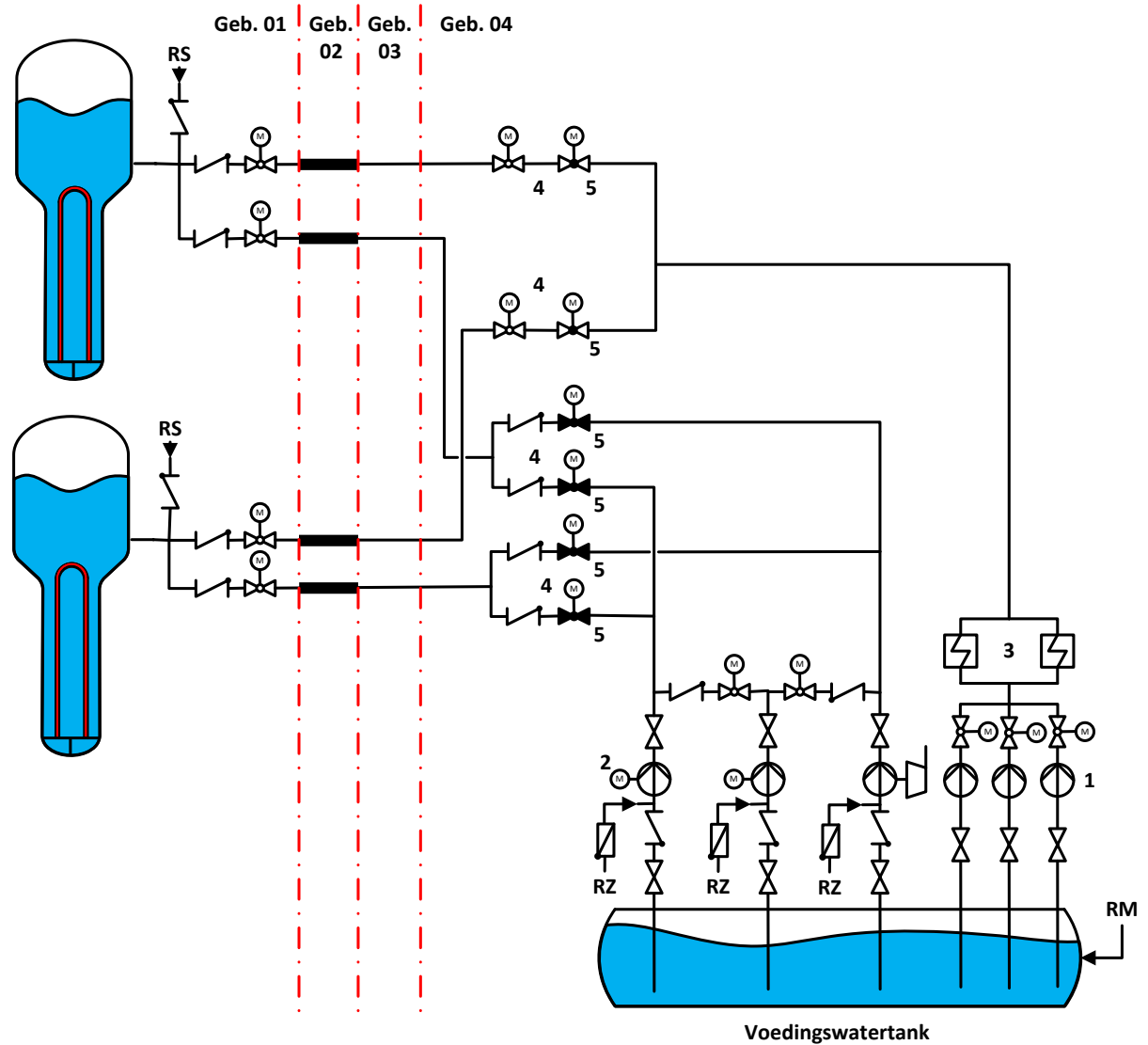
Voor het in- en afschakelen van de centrale worden in het vermogensgebied onder de 3 % reactorvermogen de noodvoedingswaterpompen gebruikt. De drie noodvoedingswaterpompen zuigen aan uit de voedingswatertank via zuigleidingen. Indien noodzakelijk (bij laag niveau in de voedingswatertank) worden de noodvoedingswaterpompen automatisch overgeschakeld op voeding vanuit het deminwatersuppletiesysteem (RZ).

De noodvoedingswaterpompen zijn zo geschakeld, dat elk van de drie pompen elke stoomgenerator kan voeden. De regelafsluiters bevinden zich eveneens in het machinegebouw. In iedere noodvoedingswaterleiding bevindt zich binnen de veiligheidsomhulling vóór de terugslagklep een afsluiter.

De noodvoedingswaterleidingen zijn aangesloten op de hoofdvoedingswaterleidingen tussen de watersloten en de stoomgeneratoren. Bij de aansluiting van de noodvoedingswaterleidingen op de hoofdvoedingswaterleidingen is ook het secundair reservesuppletiesysteem (RS) op de hoofdvoedingswaterleidingen aangesloten.

Bij ongevallen, waarbij het noodvoedingswatersysteem wordt geactiveerd door het reactorbeveiligingssysteem, worden alle drie noodvoedingswaterpompen gestart. Bij uitval van de

normale stroomvoorziening worden de beide elektrisch aangedreven pompen door het noodstroomnet 1 gevoed, terwijl de derde pomp een turbine-aandrijving heeft die gevoed wordt door stoom uit het hoofdstroom-systeem (RA). De afgewerkte stoom wordt afgevoerd naar de buitenlucht.



- | | |
|----|-----------------------------|
| 1 | Hoofdvoedingswaterpompen |
| 2 | Noodvoedingswaterpompen |
| 3 | HD-voorwarmerstraat |
| 4 | Voedingswaterverdeelstation |
| 5 | Voedingswaterregelafsluiter |
| RM | HOOFDCONDENSAATSYSTEEM |

- | | |
|----|------------------------------------|
| RS | SECUNDAIR RESERVE SUPPLETIESYSTEEM |
| RZ | DEMINWATERSUPPLETIESYSTEEM |

- | | |
|---------|----------------------|
| Geb. 01 | Veiligheidsomhulling |
| Geb. 02 | Ringruimte |
| Geb. 03 | Reactorhulpgebouw |
| Geb. 04 | Machinegebouw |

Figuur 6.3.7/1 Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem RL - principeschema -

6.3.7.3 Wijze van bedrijfsvoering

Normaal bedrijf

Tijdens vermogensbedrijf van de centrale is het RL-systeem in bedrijf. Het hoofdvoedingswatersysteem is in bedrijf gedurende normaal bedrijf met een vermogen boven 3 %. Het noodvoedingswatersysteem staat dan bedrijfs gereed.

Gedurende vermogensbedrijf zijn twee van de drie hoofdvoedingswaterpompen en de beide voorwarmerstraten in werking. De derde pomp staat reserve en wordt bij uitval van een in bedrijf zijnde hoofdvoedingswaterpomp automatisch gestart.

Voor het in- en afschakelen van de centrale wordt in het vermogensgebied onder 3 % reactorvermogen bij voorkeur een elektrisch aangedreven noodvoedingswaterpompen gebruikt. Bij het gebruik van de turbine aangedreven pomp treedt verlies op van deminwater, doordat de afgewerkte stoom afgevoerd wordt naar de buitenlucht..

Bedrijf tijdens storingen en ongevallen

Bij storingen en ongevallen, die de inschakeling van het noodvoedingswatersysteem door het reactorbeveiligingssysteem tot gevolg hebben (zie paragraaf 6.4.2 Reactorbeveiligingssysteem), worden alle drie de noodvoedingswaterpompen gestart. Het inschakelen van de pompen gebeurt op grond van een te laag niveau in één van de stoomgeneratoren.

6.3.7.4 Veiligheidsbeschouwing

Het noodvoedingswatersysteem is nodig voor de beheersing van ongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. Het noodvoedingswatersysteem is voorzien van drie noodvoedingswaterpompen die zodanig zijn geschakeld dat iedere stoomgeneratoren kan worden gevoed, zodat aan dit criterium voldaan is. Eén noodvoedingswaterpomp is voldoende voor de beheersing van ongevallen.

Voor het hoofdvoedingswatersysteem is het van belang dat tijdens het voeden van de stoomgeneratoren voorkomen wordt dat de stoomgeneratoren overvuld raken. Daartoe zijn de hoofdvoedingswaterleidingen zowel in de veiligheidsomhulling (01) als in het machinegebouw (04) voorzien van afsluiters, zodat ook bij enkelvoudig falen van een afsluiter het overvullen van een stoomgenerator voorkomen kan worden.

Het RL-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na het begin van een ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

Het RL-systeem is bestand tegen invloeden van binnenuit. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het RL-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het RL-systeem is in niet ontworpen tegen invloeden van buitenaf. Echter het RL-leidingsysteem (inclusief afsluiters) dat nodig is om met het RS-systeem de stoomgeneratoren te voeden is wel bestand tegen de gevolgen van invloeden van buitenaf. Het betreffende RL-leidingsysteem is gehuisvest in gebouw 01. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van dit deel van het RL-systeem tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het RL-systeem zijn functies (zowel op korte als lange termijn) kan vervullen en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.3.7/1 Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem RL met indicatieve componentgegevens

Ontwerpdruk (tot afsluiter geb. 01)	110	bar
Ontwerptemperatuur (tot afsluiter geb. 01)	250	°C
<u>Hoofdvoedingswatersysteem</u>		
debiet (vol vermogen)	740	kg/s
eindtemperatuur hoofdvoedingswater	216	°C
voedingswatertank		
watervolume (vol vermogen)	250	m ³
totaal volume	370	m ³
hoofdvoedingswaterpomp		
- aantal	3	
- capaciteit / druk	380 kg/s bij 410 kg/s bij	66 bar 60 bar
<u>Noodvoedingswatersysteem</u>		
noodvoedingswaterpomp		
- pompen met elektromotoraandrijving		
aantal	2	
capaciteit / druk	24 kg/s bij 39 kg/s bij	102 bar 98 bar
- pomp met turbine-aandrijving		
aantal	1	
capaciteit / druk	24 kg/s bij 39 kg/s bij	102 bar 98 bar

6.3.8 **Secundair reservesuppletiesysteem (RS)**

6.3.8.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Het secundair reservesuppletiesysteem (RS) heeft tot taak bij het uitvallen van het noodvoedingswatersysteem (RL) automatisch de voeding van de stoomgeneratoren over te nemen, waardoor de geproduceerde energie alsnog via de stoomgeneratoren afgevoerd wordt. Uitvoering van deze taak is ook mogelijk na het optreden van externe invloeden. Het RS-systeem is namelijk ontworpen tegen invloeden van buitenaf.

Bij het uitvallen van het noodvoedingswatersysteem is de voeding gewaarborgd gedurende: een autarkietijd van circa 10 uur. Gedurende deze tijd is geen menselijk ingrijpen noodzakelijk; een autonomietijd van circa 72 uur. Gedurende deze tijd is geen hulp van buiten het centrale terrein noodzakelijk.

De geproduceerde warmte door de dieselaggregaten van het noodstroomnet 2 evenals de opgenomen warmte via de ventilatiesystemen van de gebouwen 33 en 35 wordt tijdens autonoom bedrijf afgegeven aan het water van het deminwaterbassin van het RS-systeem. De capaciteit van de secundaire reservesuppletiepompen is gebaseerd op een breuk in een hoofdstoomleiding in het machinegebouw in combinatie met het uitvallen van het noodvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL), waarbij rekening is gehouden met enkelvoudig falen.

Het RS-systeem heeft geen bedrijfsmatige functie.

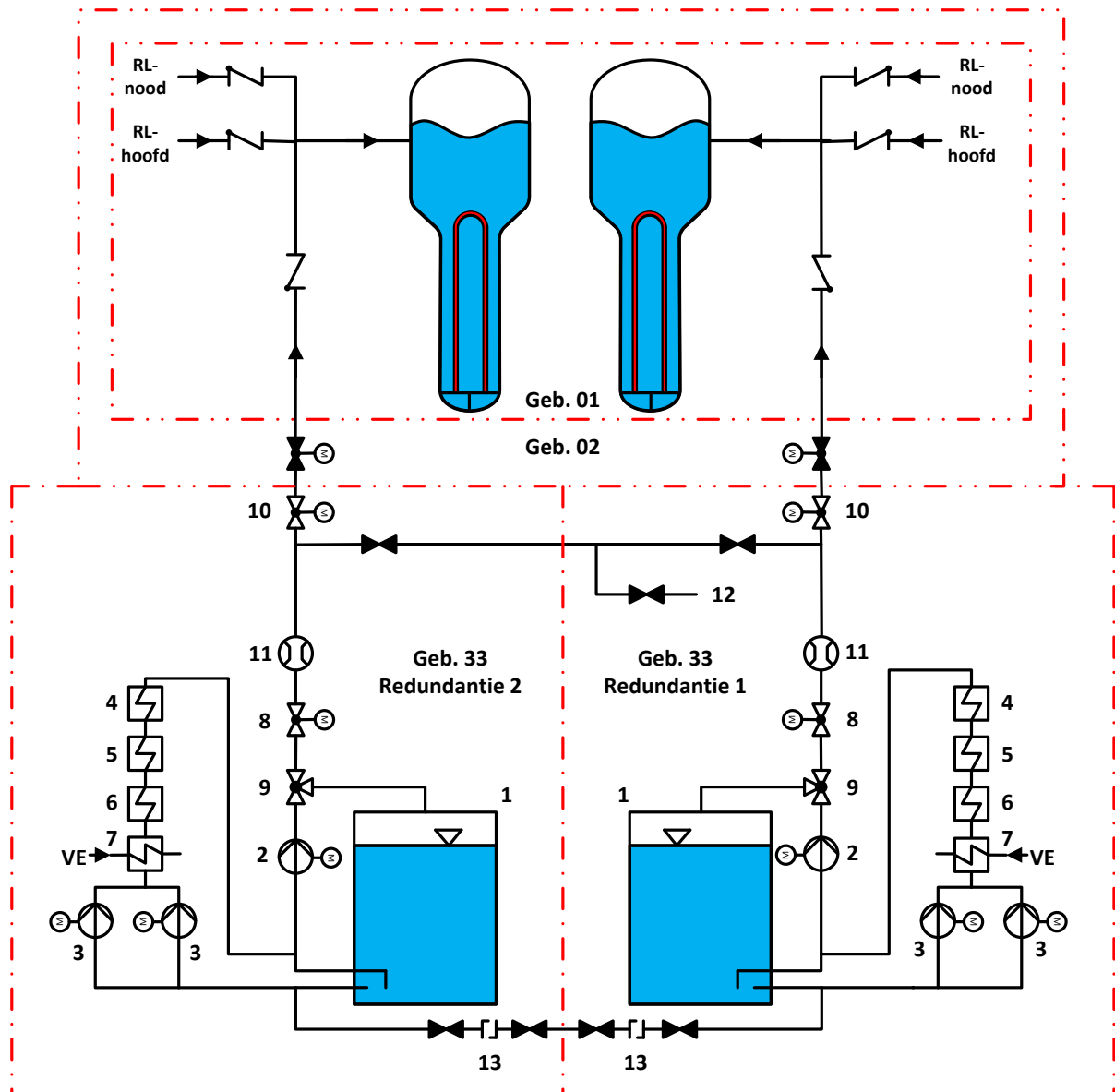
6.3.8.2 **Systeembeschrijving**

Het RS-systeem bestaat uit twee ruimtelijk gescheiden, redundante voedingsstrangen, die elk aan een stoomgenerator zijn toegewezen. In principe bestaat elke strang uit:

- een deminwaterbassin;
- een centrifugaalpomp met nullastklep;
- een drukregelafsluiter;
- een stoomgenerator-niveauregelafsluiter;
- een afsluiter vóór de stoomgenerator (in de ringruimte).

Het RS-systeem beschikt per redundantie over eigen instrumentarium en watervoorraden. Het RS-systeem wordt elektrisch gevoed door noodstroomnet 2. Het RS-systeem bevindt zich in de gebouwen 01, 02, en 33. Gebouw 01 en 02 zijn bestand tegen invloeden van buitenaf. Gebouw 33 en het RS-systeem zijn ontworpen om te functioneren bij invloeden van buitenaf. Daarmee is het RS-systeem beschermd tegen externe invloeden en onafhankelijk van de situatie in de overige gebouwen.

Beide centrifugaalpompstrangen kunnen perszijdig handmatig met elkaar verbonden worden (AM, zie paragraaf 6.11.1). Daarnaast bestaat er een mogelijkheid om de beide bassins te verbinden. Hiermee is de watervoorraad voldoende voor circa 72 uur koeling van de reactor via de stoomgeneratoren. Om de strangenscheiding te waarborgen is deze verbinding normaal losgekoppeld.



1	Deminwaterbassin	12	Buitenaansluiting
2	Reservesuppletiepomp	13	Koppelstuk
3	Circulatiepomp		
4	Koeler dieselmotor	RL	HOOFD- EN
5	Ruimtekoeler dieselmotor		NOODVOEDINGSWATERSYSTEEM
6	Luchtkoeler elektronicarumte	VE	RESERVENOODKOELWATERSYSTEEM
7	Reservetussenkoeler		
8	Drukregelafsluiter	Geb.01	Veiligheidsomhulling
9	Afsluiter	Geb.02	Ringruimte
10	Stoomgenerator-niveauregelafsluiter	Geb.33	Reservesuppletiegebouw
11	Debietmeting		

Figuur 6.3.8/1 Secundair reservesuppletiesysteem RS - Principeschema -

Verder bestaat de mogelijkheid om van buitenaf, via de perszijdige verbinding sleiding tussen beide RS-strangen, water van buiten gebouw 33 (bijvoorbeeld bluswater) naar de stoomgeneratoren te voeren, eveneens in het kader van accident management (AM, zie paragraaf 6.11.1). Deze aansluiting is tijdens normaal bedrijf en ontwerpgevallen altijd met twee in serie geschakelde afsluiters van de persleidingen afgesloten, zodat de normale veiligheidsfunctie van het RS-systeem, ook in het geval van enkelvoudig falen, hierdoor niet wordt belemmerd.

Voor de koeling van de electronicarumten van het reactorbeveiligingssysteem (YZ) en de afvoer van de geproduceerde warmte tijdens het bedrijf van de dieselaggregaten van het noodstroomnet 2, is er per strang een eigen koelketen aanwezig, die de warmte aan het water van het deminwaterbassin afgeeft. Elke koelketen heeft twee circulatiepompen, waarvan er slechts één benodigd is. Voor de koeling van de electronicarumten is continu één pomp per strang in bedrijf.

In de koelketen is in de stromingsrichting vóór de koeler van de elektronicarumten een extra warmtewisselaar aangebracht. Deze warmtewisselaar wordt door het reservenoodkoelwatersysteem (VE) gevoed en waarborgt de warmteafvoer op lange termijn van het dieselaggregaat van het noodstroomnet 2 en van de electronicarumten van het reactorbeveiligingssysteem (YZ). De bijschakeling van deze warmtewisselaar gebeurt met de hand.

6.3.8.3 **Wijze van bedrijfsvoering**

Het RS-systeem staat altijd stand-by als het bij gesloten primaire kringloop mogelijk is om de warmte af te voeren via de stoomgeneratoren. Inschakelcriterium is een laag waterniveau in een stoomgenerator.

De bijschakeling geschiedt per stoomgenerator. Bij lage tegendruk van de stoomgenerator voorkomt de drukregelafsluiter achter de pomp, dat de pomp en de aandrijfmotor overbelast worden. Deze regelafsluiter wordt pas geopend als de pomp haar werkdruk heeft bereikt.

Het niveau in de stoomgenerator wordt geregeld met de bijbehorende niveauregelafsluiter door aanpassing van de voedingswatertoevoer naar de stoomgenerator.

Zolang de pomp van een strang van het RS-systeem op volle capaciteit werkt, wordt het door de eigen koelketen van het systeem verwarmde water direct naar de stoomgenerator getransporteerd.

6.3.8.4 **Veiligheidsbeschouwing**

Het RS-systeem is nodig voor de beheersing van ontwerp-ongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. Het RS-systeem voldoet aan dit criterium, omdat het functioneren van één van beide strangen voldoende is voor de beheersing van deze ongevallen.

Het RS-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na het begin van een ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

De voorraad water van elk deminwaterbassin is voldoende om gedurende tenminste 10 uur zonder menselijk ingrijpen te kunnen voeden in de stoomgeneratoren. Tevens is de totale voorraad van beide deminwaterbassins voldoende om gedurende tenminste 72 uur zonder hulp van buiten het terrein van de centrale te kunnen voeden. Tevens zijn voor deze tijdsduur de koeling van de electronicarumten van het reactorbeveiligingssysteem (YZ) en de afvoer van de tijdens het bedrijf van de dieselaggregaten van het noodstroomnet 2 geproduceerde warmte zeker gesteld.

De beide strangen zijn ruimtelijk gescheiden, zodat storingen in één strang de goede werking van de andere strang niet nadelig kunnen beïnvloeden. Hiermee is het RS-systeem bestand tegen invloeden van binnenuit (zie paragraaf 5.9).

Het RS-systeem is ontworpen tegen invloeden van buitenaf en is gehuisvest in gebouwen die hier eveneens tegen bestand zijn. Daarmee is de bestendigheid van het RS-systeem tegen invloeden van buitenaf gegeven. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van het RS-systeem tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het RS-systeem zijn functies (zowel op korte als lange termijn) kan vervullen en dat de hypothetische veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.3.8/1 Secundair reservesuppletiesysteem RS met indicatieve componentgegevens

Ontwerpdruk	120	bar
Ontwerptemperatuur	60	°C
deminwaterbassin		
- aantal	2	
- inhoud	469	m ³
centrifugaalpomp		
- aantal	2	
- capaciteit/druk	14 kg/s bij 17 kg/s bij	80 bar 2 bar
circulatiepomp		
- aantal	4	
- capaciteit	60	m ³ /h
Warmtewisselaar		
- reserve tussenkoeler aantal	2	
benodigde capaciteit	837	kW
- dieselruimtekoeler aantal	2	
benodigde capaciteit	124	kW
- dieselkoeler aantal	2	
benodigde capaciteit	550	kW
- luchtkoeler elektronicaruimten aantal	2	
benodigde capaciteit	100	kW

6.3.9 **Hoofdstoomsysteem (RA)**

6.3.9.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Het hoofdstoomsysteem (RA) vormt de verbinding tussen de beide stoomgeneratoren en de turbine. Het RA-systeem heeft tot taak de in de stoomgeneratoren geproduceerde stoom af te geven. Tijdens normaal bedrijf is dit aan de turbine en de turbinecondensator of, als deze laatste tijdens storingen of ongevallen niet beschikbaar is, aan de atmosfeer. Door strikte scheiding van primair en secundair systeem is de stoom in het hoofdstoomsysteem schoon (niet-radioactief).

Verder worden door het RA-systeem verschillende verbruikers van hulpstoom voorzien, zoals de noodvoedingswaterpomp met turbine-aandrijving van het RL-systeem.

De voor de veiligheid belangrijke functies van het hoofdstoomsysteem zijn:

- na ongevallen afvoeren van de warmte via de afblaasregelkleppen en/of veiligheidskleppen, indien afvoer via de turbine-omloop en condensators niet mogelijk is;
- drukbeveiliging van de stoomgeneratoren via de afblaasregelkleppen en/of de veiligheidskleppen;
- afsluiten van de betreffende stoomgenerator bij een breuk van U-pijpen in de stoomgenerator of bij een hoofdstoomleidingbreuk;
- scheiden van de stoomgeneratoren bij een lekkage in een hoofdstoomleiding
- toevoeren van stoom naar de turbine-aangedreven noodvoedingswaterpomp.

De capaciteit van de afblaasregelkleppen is gebaseerd op het uit bedrijf nemen van de centrale met een gradiënt van 100 K/h na een klein lek in het reactorkoelsysteem, waarbij rekening gehouden wordt met enkelvoudig falen.

Het RA-systeem dient zijn veiligheidsrelevante functies uit te kunnen voeren bij invloeden van binnenuit en een deel van zijn veiligheidsrelevante functies bij invloeden van buitenaf.

De veiligheidsomhulling (01) en de ringruimte (02) zijn bestand tegen invloeden van buitenaf. Binnen deze gebouwen zijn de hoofdstoomleidingen aardbevingsbestendig uitgevoerd.

6.3.9.2 **Systeembeschrijving**

Het RA-systeem bestaat uit twee strangen die elk aan een stoomgenerator zijn toegewezen. Elke strang bestaat naast het hoofdstoomleidingwerk uit:

- 2 redundante afblaasstrangen met elk een afblaasklep en een afblaasregelklep;
- 2 veiligheidsklepstrangen met elk 5 veiligheidskleppen;
- 1 hoofdstoomafsluiter;
- verwarmingsappendages (een verwarmingsafsluiter en een verwarmingsregelklep).

In de stoomgeneratoren wordt de energie uit het primair systeem (de hoofdcoolmiddelkringloop) overgedragen aan het secundair systeem (de stoom/water kringloop). Via de twee hoofdstoomleidingen wordt de stoom naar de turbogenerator in het machinegebouw gevoerd. Daarin wordt de in de stoom opgenomen energie omgezet in elektriciteit.

Tenslotte kan de stoom worden gebruikt voor de aandrijving van één van de drie opgestelde noodvoedingswaterpompen (RL), de beide andere worden door een elektromotor aangedreven).

De hoofdstoomleidingen zijn gelast aan de daarvoor op de stoomgeneratoren aangebrachte stompen. Vandaar lopen de pijpleidingen via doorvoeringen in de stalen veiligheidsomhulling en de betonnen secundaire afscherming door de ringruimte naar het hoofdstoomafblaasstation en van daar

naar de turbine (zie figuur). Het gedeelte van de hoofdstoomleidingen binnen de veiligheidsomhulling is zodanig uitgevoerd dat het optreden van een rondgaande scheur (de zogenaamde 2F-breuk) uitgesloten is (zie paragraaf 5.9.1). De hoofdstoomleidingen worden in de ringruimte door mantelbuizen geleid, om nadelige gevolgen voor de installaties in de ringruimte in het geval van een hoofdstoomleidinglekage of breuk te voorkomen.

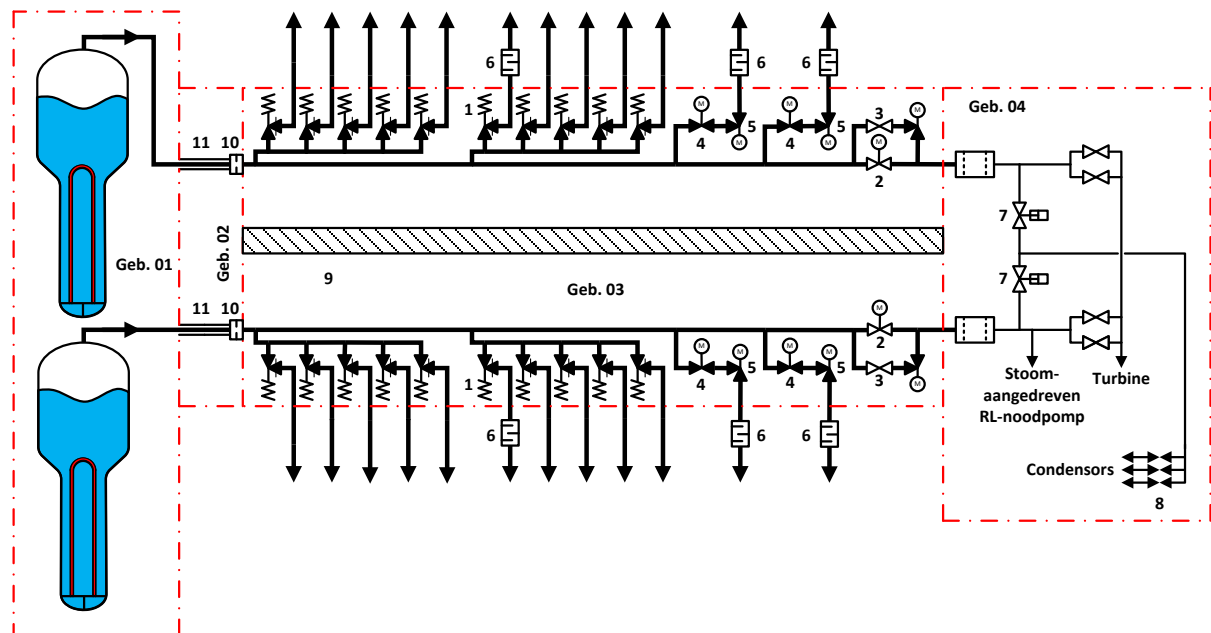
Bij de overgang van het reactorgebouw naar het reactorhulpgebouw bevinden zich in de hoofdstoomleidingen doorstroombegrenzers. Bij een eventuele lekkage of breuk buiten het reactorgebouw beperken deze doorstroombegrenzers de gevolgen voor het leidingsysteem en de stoomgeneratoren in het reactorgebouw.

De veiligheidskleppen zijn ontworpen op de afvoer van de maximale stoomhoeveelheid die bij turbinesnelafschakeling (TUSA) bij vol vermogen geproduceerd wordt. De kleppen zijn veerbelast en worden door de hoofdstoomdruk geopend bij het bereiken van de ingestelde aanspreekdruk. Iedere klep heeft een eigen afvoerleiding door het dak naar buiten waarbij die van de veiligheidskleppen met de laagste aanspreekdruk (één per hoofdstoomleiding) zijn voorzien van geluiddempers. Direct na de aftakking ten behoeve van de veiligheidskleppen heeft elke hoofdstoomleiding een aftakking naar twee afblaasregelkleppen. Via deze kleppen kan bij uitval van de turbine en het turbine-omloopsysteem de in het primair systeem opgewekte energie naar de omgeving worden afgevoerd. Alle vier afvoerleidingen zijn voorzien van geluiddempers. In tegenstelling tot de veiligheidskleppen, die "mediumgestuurd" zijn, worden de afblaasregelkleppen door het reactorbeveiligingssysteem (YZ) geactiveerd zodra de maximale hoofdstoomdruk wordt overschreden. De aanspreekdrukken van de afblaasregelkleppen liggen lager dan die van de veiligheidskleppen. In het hoofdstoomafblaasstation bevinden zich ook de beide hoofdstoomafsluiters, waarmee de turbine en de condensoren kunnen worden geïsoleerd.

De beide hoofdstoomleidingen lopen na het hoofdstoomafblaasstation met een ruime expansiebocht over het dak van het reactorhulpgebouw (03) naar het machinegebouw (04). De hoofdstoomleidingen vanaf het reactorgebouw tot aan de bovenste machinegebouwwvloer zijn gekwalificeerd en worden onderworpen aan een inspectieprogramma. Het gedeelte tussen de hoofdstoomafsluiter en de bovenste machinegebouwwvloer is zodanig uitgevoerd dat de kans op het optreden van een rondgaande scheur zeer gering is. Om de krachten op de hoofdstoomleidingen in het geval van eventuele lekkages in de hoofdstoomleidingen in het machinegebouw (04) op te vangen, zijn deze leidingen vlak onder de bovenste machinegebouwwvloer gefixeerd.

In het machinegebouw vertakken de beide hoofdstoomleidingen zich in twee toevoeren naar de hogedruktrap van de turbine. In deze toevoeren bevinden zich snelsluitkleppen (zie paragraaf 6.7.1). Tussen stoomzeef en splitsing worden beide leidingen afgetakt tot één hoge druk turbine-omloopleiding, die zich uiteindelijk splitst in drie leidingen die uitmonden in de condensoren.

De turbine-omloopleiding is tijdens normaal bedrijf afgesloten, behalve bij de in- en uitbedrijfname van de centrale en bij bepaalde storingen en ongevallen. De omloopleiding is in staat de volledige hoeveelheid stoom bij vol vermogen af te voeren naar de condensoren. In de aftakleidingen van de beide hoofdstoomleidingen naar de omloopleiding zijn twee mediumgestuurde breukbeveiligingskleppen geplaatst. Deze kleppen zorgen ervoor dat in het geval van een hoofdstoomleidinglekage of breuk de hoofdstoomleidingen van elkaar worden geïsoleerd. Tussen de aftak in de hoofdstoomleiding voor de turbine-omloop en de plaats waar de hoofdstoomleiding zich in twee leidingen splitst zit tenslotte de aansluiting voor het toevoeren van stoom naar de turbinegedreven noodvoedingswaterpomp. In het hoofdstoomsysteem worden een aantal karakteristieke grootheden gemeten om de veilige werking van het systeem zeker te stellen. Dit betreft de ^{16}N -activiteit (om eventuele lekkage uit het primair systeem snel te detecteren) alsmede de druk, de temperatuur en het debiet van de hoofdstoom.



1	Veiligheidskleppen	9	Scheidingswand
2	Hoofdstoomafsluiters	10	Doorstroombegrenzers
3	Bypass-afsluiters	11	Mantelbuizen
4	Afblaaskleppen		
5	Afblaasregelkleppen	Geb.01	Veiligheidsomhulling
6	Geluidsdempers	Geb.02	Ringruimte
7	Breukbeveiligingsafsluiters	Geb.03	Reactorhulpgebouw
8	Turbine-omloopafsluiters	Geb.04	Machinegebouw

Figuur 6.3.9/1 Hoofdstoomafblaasstation RA - Principeschema -

De belangrijkste afsluiters van het RA-systeem hebben de volgende functies:

- de hoofdstoomafsluiter heeft tot taak tijdens bepaalde ongevallen de hoofdstoomleiding af te sluiten. Het stoompad naar de afblaasstrangen respectievelijk naar de veiligheidskleppen blijft geopend. De hoofdstoomafsluiters zijn uitgevoerd als schuifafsluiters die indien nodig binnen 1 minuut sluiten. Zij zijn geschikt om te functioneren bij het volledige druk-verschil over de afsluiters dat in het geval van ongevallen kan optreden.
- de afblaasklep is vóór de afblaasregelklep geschakeld en tijdens normaal bedrijf gesloten. Een foutief openstaande afblaasregelklep kan door de voorgeschakelde afblaasklep geïsoleerd worden.
- de afblaasregelklep is achter de afblaasklep geschakeld en tijdens normaal bedrijf gesloten. Voor het beheersen van bepaalde ongevallen is een automatische drukverlaging van de stoom/water-kringloop noodzakelijk. Deze functie wordt vervuld door de afblaasregelklep. Als de condensor-omloop niet beschikbaar is, kunnen de afblaaskleppen gebruikt worden om het primair systeem via de stoomgeneratoren af te koelen. De stoom wordt dan afgevoerd naar de atmosfeer. Daarnaast heeft de afblaasregelklep de taak om na ongevallen waarbij de hoofdstoomdruk oploopt, deze te beperken.
- de veiligheidskleppen hebben tot taak de hoofdstoomdruk in de bijbehorende stoomgenerator met het daarop aangesloten hoofdstoomleidingsysteem te beperken na ongevallen waarbij de hoofdstoomdruk oploopt. De bij het afvoeren van de restwarmte

ontstane hoofdstoom wordt naar de atmosfeer afgevoerd.
Tijdens normaal bedrijf zijn de veiligheidskleppen gesloten.

- de verwarmingsappendages zijn in een bypass van de hoofdstoomafsluiter gemonteerd. Met de verwarmingsregelafsluiters wordt de stoomhoeveelheid voor het opwarmen van de hoofdstoomleiding bij het opstarten van de centrale geregeld.
- de breukbeveiligingskleppen hebben tot taak de stoomgeneratoren van elkaar te scheiden in het geval van een lekkage van een hoofdstoomleiding. De kleppen worden door de reactorbeveiliging bij een snelle drukdaling in het hoofdstoomstelsel automatisch gesloten. Daardoor wordt voorkomen dat de installatie snel afkoelt via het lek in de hoofdstoomleiding.

De hoofdstoomappendages, de afblaaskleppen en de afblaasregelkleppen worden bij uitval van de normale stroomvoorziening door het noodstroomnet 2 gevoed. De breukbeveiligingsafsluiters zijn mediumgestuurd.

Bij ongevallen, waarbij de turbine of de condensor uitvalt, worden de afblaaskleppen en afblaasregelkleppen door het reactorbeveiligingssysteem geactiveerd, zodra de maximale hoofdstoomdruk wordt overschreden. De afblaasregelkleppen van een stoomgenerator worden getript aangestuurd. De instelwaarde is lager dan de aanspreekwaarde van de veiligheidskleppen, zodat een frequent openen van de veiligheidskleppen wordt voorkomen. Per hoofdstoomleiding zijn de aanspreekdrukken van de veiligheidskleppen getript ingesteld zodat de kleppen (indien nodig) na elkaar aanspreken.

Bij het uit bedrijf nemen met een gradiënt van 100 K/h na een geringe lekkage van het reactorkoelsysteem, wordt de instelwaarde van de turbine-omloop ten opzichte van de afblaasregeling met ongeveer 3 bar gereduceerd waardoor, wanneer de condensor beschikbaar is, het niet nodig is de afblaasregelkleppen te openen. Bij het niet beschikbaar zijn van de turbine-omloop is de afblaascapaciteit van één afblaasregelklep voldoende om de vervalwarmte af te voeren. Voor afkoelen met 100 K/h na koelmiddelverliesongevallen zijn, afhankelijk van de situatie, maximaal twee afblaasregelkleppen nodig.

De twee strangen van het hoofdstoomafblaasstation zijn ruimtelijk gescheiden door een scheidingswand. Hierdoor wordt voorkomen dat bij lekkage van één van de strangen de andere negatief beïnvloed wordt als gevolg van de belastingen die worden veroorzaakt door de dan heersende druk, temperatuur en vochtigheid.

6.3.9.3 **Wijze van bedrijfsvoering**

Normaal bedrijf

Tijdens vermogensbedrijf voert het RA-systeem de in de stoomgeneratoren geproduceerde stoom naar de hogedruk-turbine. Bij in- en uitbedrijf-name van de centrale wordt de stoom via de turbine-omloopleiding naar de condensors geleid.

De afblaas- en veiligheidskleppen staan in deze bedrijfssituaties bedrijfs gereed en komen alleen in bedrijf bij een te hoge stoomdruk in het RA-systeem.

Bedrijf tijdens storingen en ongevallen

Bij storingen en ongevallen worden bij uitval van de turbine en het turbine-omloopsysteem de afblaasregelkleppen en/of de veiligheidskleppen geopend om de in het primair systeem opgewekte energie af te voeren naar de omgeving.

Na het optreden van een stoomgeneratorpijpbreuk of een hoofdstoomleidingbreuk na de hoofdstoomafsluiter wordt de betreffende stoomgenerator afgesloten middels het sluiten van de bijbehorende hoofdstoomafsluiter.

Na het optreden van een klein lek in het reactorkoelsysteem wordt de installatie uit bedrijf genomen met een gradiënt van 100 K/h door middel van het openen van de afblaasregelkleppen.

6.3.9.4 Veiligheidsbeschouwing

De veiligheidsrelevante delen van het RA-systeem zijn nodig voor de beheersing van ontwerp-ongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing.

Elke hoofdstoomleiding is voorzien van twee redundante afblaasstrangen. Daarnaast is elke hoofdstoomleiding voorzien van twee leidingen met elk vijf veiligheidskleppen. In geval van falen van één veiligheidsklep (niet openen) is de capaciteit van de overige veiligheidskleppen voldoende. Daarmee wordt voldaan aan het enkelvoudig faalcriterium.

De hoofdstoomafsluiters zijn per hoofdstoomleiding enkelvoudig uitgevoerd. De beheersing van ongevallen is echter gewaarborgd, ook als de hoofdstoomafsluiters niet functioneren.

Het RA-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na het begin van een ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

Beide strangen van het RA-systeem in de veiligheidsomhulling (01), de ringruimte (02) en het hoofdstoomafblaasstation zijn zodanig uitgevoerd (kwalificatie, mantelbuis, scheidingswand) dat binnen deze gebouwen storingen in één strang de goede werking van de andere strang niet nadelig beïnvloeden.

Het RA-systeem is bestand tegen invloeden van binnenuit. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het RA-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

De veiligheidsomhulling (01) en de ringruimte (02) zijn bestand tegen invloeden van buitenaf. Binnen deze gebouwen zijn de hoofdstoomleidingen aardbevingsbestendig uitgevoerd en is het RA-systeem bestand tegen invloeden van buitenaf. In paragraaf 5.10 is deze bestendigheid van het RA-systeem tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het RA-systeem zijn functies (zowel op korte als lange termijn) kan vervullen en dat de hypothetische veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.3.9/1 Hoofdstoomsysteem (RA) met indicatieve componentgegevens

<u>Hoofdstoomsysteem</u>		
- totaal debiet (vol vermogen)	740	kg/s
- bedrijfsdruk	57	bar
- stoomtemperatuur	270	°C
<u>Veiligheidsklep</u>		
- aantal	2 x 10	
- capaciteit (94,4 bar)	39	kg/s
- maximale persdruk	185	bar
<u>Afblaasregelklep</u>		
- aantal	2 x 2	
- capaciteit (82,4 bar)	170	kg/s

6.3.10 **Ventilatiesysteem regelzaal (UV/UW)**

6.3.10.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

De taken van het ventilatiesysteem van de regelzaal (UV/UW) zijn:

- het zeker stellen van de omgevingscondities in de regelzaal tijdens normaal bedrijf en tijdens invloeden van binnenuit. Dit laatste omvat ook ongevallen waarbij lozing van radioactieve stoffen plaats vindt. De omgevingscondities in de regelzaal dienen ook zeker gesteld te worden in situaties waarbij zich toxische of brandbare gassen in de buitenluchttoevoer naar de regelzaal bevinden.

Voor het zeker stellen van de condities in de regelzaal dienen voorzieningen aanwezig te zijn ten aanzien van de luchttoevoer en de luchtbehandeling. De veiligheidstechnisch belangrijke functies zijn:

- het afsluiten van de buitenluchttoevoer;
- de filtering van eventueel radioactief besmette buitenlucht;
- de recirculatie van lucht in de regelzaal, waarbij de buitenluchttoevoer wordt afgesloten;
- de bewaking van de buitenluchttoevoer op toxische en explosieve gassen.

Indien een radioactieve lozing optreedt die een gevaar kan vormen voor het personeel in de regelzaal, dient de buitenluchttoevoer naar de regelzaal plaats te vinden via absoluut- en actiefkoolfilters. Ontwerpbepalend is hierbij een ernstig ongeval, waarbij drukontlasting van de veiligheidsomhulling plaats vindt.

Indien toxische of brandbare gassen in de buitenluchttoevoer worden gedetecteerd, dient de ventilatie op recirculatie over te gaan waarbij de buitenluchttoevoer wordt afgesloten en de branddeuren gesloten worden.

Het systeem voor de aanvoer van verse lucht moet gasdicht zijn uitgevoerd voor het gedeelte waarin een lagere druk kan heersen dan in de omgeving. Verder dient de buitenluchttoevoer gasdicht afgesloten te worden indien toxische of brandbare gassen in de buitenluchttoevoer worden gedetecteerd.

6.3.10.2 **Systeembeschrijving**

De luchtbehandeling van de regelzaal wordt verzorgd door een installatie die hoofdzakelijk met circulatielucht werkt. De circulatie-installatie bestaat uit twee parallel geschakelde units die functioneel identiek zijn.

Voorgeschakeld aan de circulatie-installatie voor de regelzaal is een buitenluchttoevoerinstallatie met twee parallel geschakelde toevoerventilatoren. De buitenlucht kan na deze ventilatoren door een bypassleiding (voor normaal bedrijf) of via twee parallelle filterstraten automatisch naar de circulatie-installatie gevoerd worden. De filterstraten bestaan uit een groffilter, fijnfilters en een actiefkoolfilter.

Met betrekking tot toxische en brandbare gassen zijn ten behoeve van de bescherming van het personeel detectoren aangebracht. Bij waarneming van deze gassen wordt het ventilatiesysteem van de regelzaal automatisch afgesloten en vindt recirculatie plaats.

De stroomvoorziening van de veiligheidsrelevante delen van de luchtbehandelings-installaties is gewaarborgd door voeding met noodstroom.

6.3.10.3 **Wijze van bedrijfsvoering**

Normaal bedrijf

Tijdens normaal bedrijf wordt de ventilatielucht voor de regelzaal via de bypassleiding van de filterstraten gevoerd. De buitenluchttoevoer wordt continu bewaakt op radioactiviteit en toxische en brandbare gassen.

Bedrijfsvoering tijdens storingen en ongevallen

Tijdens invloeden van binnenuit of ernstige ongevallen, waarbij lozing van radioactieve stoffen plaats vindt, zal de regelzaal bezet moeten blijven. Indien een radioactieve lozing optreedt die een gevaar kan vormen voor het personeel in de regelzaal, wordt de bypassleiding in de buitenluchttoevoerinstallatie gesloten en vindt de luchttoevoer naar de regelzaal en de aangrenzende vergaderruimte plaats via absoluut- en koolfilters.

Indien toxische of brandbare gassen in de buitenluchttoevoer worden gedetecteerd, wordt de ventilatie van de regelzaal op recirculatie geschakeld waarbij de buitenluchttoevoer wordt afgesloten en de branddeuren gesloten worden.

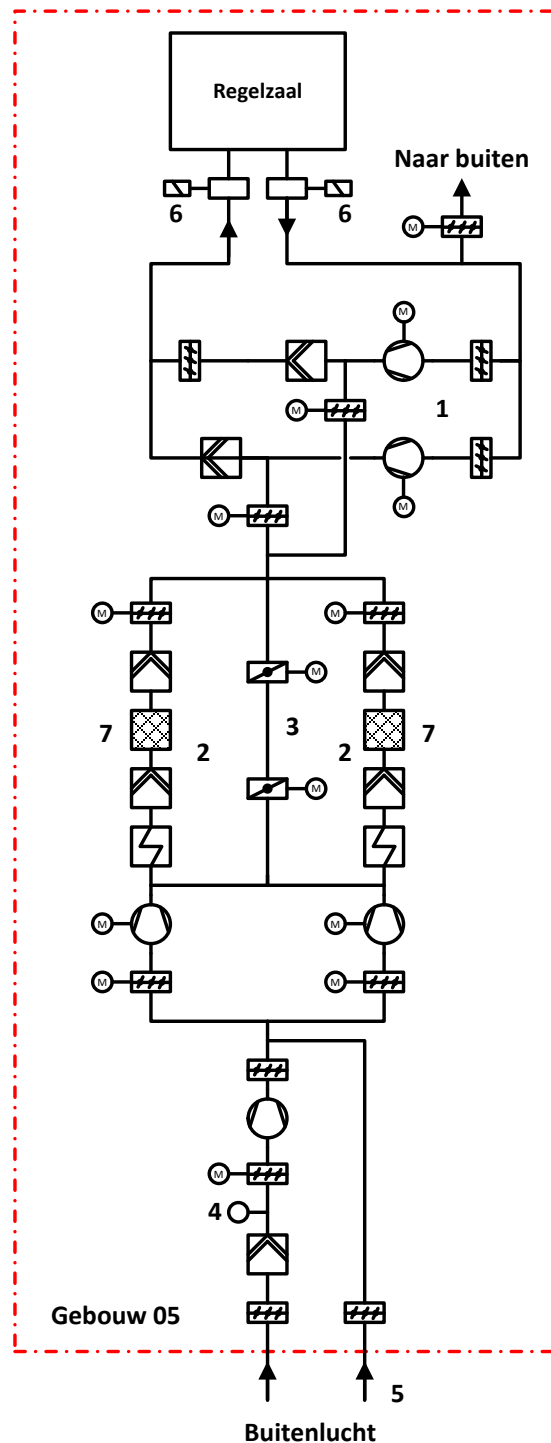
6.3.10.4 **Veiligheidsbeschouwing**

De regelzaal is nodig voor de beheersing van ontwerp-ongevallen (zie paragraaf 5.1). Het ventilatiesysteem van de regelzaal is nodig om deze functie te kunnen vervullen. Daarom dient het ventilatiesysteem van de regelzaal te voldoen aan het enkelvoudig faalcriterium. De actieve componenten van het ventilatiesysteem voldoen aan dit criterium.

Het ventilatiesysteem van de regelzaal is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na het begin van en ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

Het ventilatiesysteem van de regelzaal is bestand tegen de condities die in de verschillende ruimten ten gevolge van invloeden van binnenuit kunnen heersen. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het ventilatiesysteem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het ventilatiesysteem van de regelzaal is ontworpen tegen het optreden van toxische of brandbare gassen. Het ventilatiesysteem wordt in deze situaties automatisch afgesloten en er vindt interne recirculatie plaats. Het ventilatiesysteem is niet bestand tegen de overige invloeden van buitenaf. In geval van optreden van deze invloeden van buitenaf vindt de bediening van de centrale plaats vanuit de reserve regelzaal, gehuisvest in gebouw 35, zie paragraaf 5.10.



1	Luchtbehandelingsinstallatie regelzaal	6	Brandklep
2	Filterstraat	7	Actief koolfilter
3	Bypassleiding		
4	Meting toxische of explosieve stoffen		Geb.05 Schakelgebouw
5	Alternatief aanzuigpunt		

Figuur 6.3.10/1 Ventilatiesysteem regelzaal (UV/UW) - Principeschema -

Tabel 6.3.10/1 Ventilatiesysteem regelzaal (UV/UW) met indicatieve componentgegevens

Recirculatieventilator

- aantal	2	
- capaciteit	10 000	m ³ /h

Buitenluchttoevoerventilator

- aantal	2	
- capaciteit	5 000	m ³ /h

6.3.11 **Ventilatiesysteem reserveregelzaalgebouw (UV/UW)**

6.3.11.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

De voor de veiligheid belangrijke taak van het ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw (UV/UW) is:

- het zeker stellen van de omgevingscondities in het reserveregelzaalgebouw (35).

Uitgangspunt voor het veiligheidsontwerp is het binnen de vastgestelde waarden houden van de ruimtecondities. Het ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw dient deze taak uit te kunnen voeren tijdens en na invloeden van buitenaf.

6.3.11.2 **Systeembeschrijving**

Het ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw ventileert en koelt de lucht van de elektronica en ruimten van het reserveregelzaalgebouw (35). De toevoerlucht wordt gefilterd en gekoeld met water uit de bassins van het secundair reservesuppletiesysteem (RS).

Het systeem bestaat uit toevoerluchtventilatoren, mengluchtinstallaties met bijbehorende regeling, luchtkoelers, filters en afvoerluchtventilatoren.

Het ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw wordt bij uitval van de normale stroomvoorziening door noodstroomnet 2 gevoed.

6.3.11.3 **Wijze van bedrijfsvoering**

Normaal bedrijf

Tijdens normaal bedrijf staan de systemen in het reserveregelzaalgebouw (35) stand-by. Het ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw handhaaft de ruimtecondities .

Bedrijfsvoering tijdens storingen en ongevallen

Ook tijdens ongevallen waarvoor de systemen in het reserveregelzaalgebouw (35) nodig zijn, zorgt het ventilatiesysteem voor het handhaven van de ruimtecondities.

6.3.11.4 **Veiligheidsbeschouwing**

De reserveregelzaal in gebouw 35 is nodig voor de beheersing van ontwerpongevallen. Het ventilatiesysteem van de reserveregelzaal is nodig om deze functie te kunnen vervullen. Daarom dient het ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw aan het enkelvoudig faal criterium te voldoen. De actieve componenten van het ventilatiesysteem voldoen aan dit criterium.

Het ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na het begin van een ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

Het ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw is bestand tegen de condities die in de verschillende ruimten ten gevolge van invloeden van binnenuit kunnen heersen. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het ventilatiesysteem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het ventilatiesysteem van het reserveregelzaalgebouw is ontworpen om bestand te zijn tegen invloeden van buitenaf, zie paragraaf 5.10.

Tabel 6.3.11/1 Ventilatiesysteem reserveregelzaal met indicatieve componentgegevens

Toevoerluchtventilator

- aantal	4	
- capaciteit	20 900	m ³ /h

Afvoerluchtventilator

- aantal	4	
- capaciteit	20 900	m ³ /h

6.4 MEET- EN REGELSYSTEMEN

In dit hoofdstuk worden de meet- en regelsystemen, het reactorbeveiligingssysteem (YZ) en de bedieningspanelen behandeld. In de eerste paragraaf worden de meet- en regelsystemen beschreven met de meettechniek, de besturings- en regelinrichtingen en het storingsmeldsysteem. In de tweede paragraaf wordt het reactorbeveiligingssysteem (YZ) beschreven met ondermeer de relevante activeringssignalen en in de derde paragraaf de bedieningspanelen en informatiesystemen.

De meet- en regelsystemen hebben tot taak het meten, besturen, regelen, bewaken en beveiligen van processen en systemen. Dit betreft:

- de mogelijkheid bieden om te observeren en te bedienen vanuit de regelzaal, de reserve-regelzaal en de lokale bedieningspanelen.
- registratie van meetwaarden en schakelposities;
- besturing en regeling van bedrijfsprocessen;
- bewaking van veiligheidstechnisch belangrijke procesvariabelen;
- documentatie van geselecteerde meetwaarden.

Het reactorbeveiligingssysteem (YZ) heeft de volgende taken om de kernkoeling, de ondercriticaliteit en het voorkomen van ongewenste radioactieve lozingen zeker te stellen:

- de bewaking van veiligheidstechnisch belangrijke (proces)variabelen en bij afwijking het initiëren van automatische maatregelen;
- het handhaven van de mechanische en thermische ontwerpcondities van het primaire systeem tijdens alle bedrijfstoestanden.

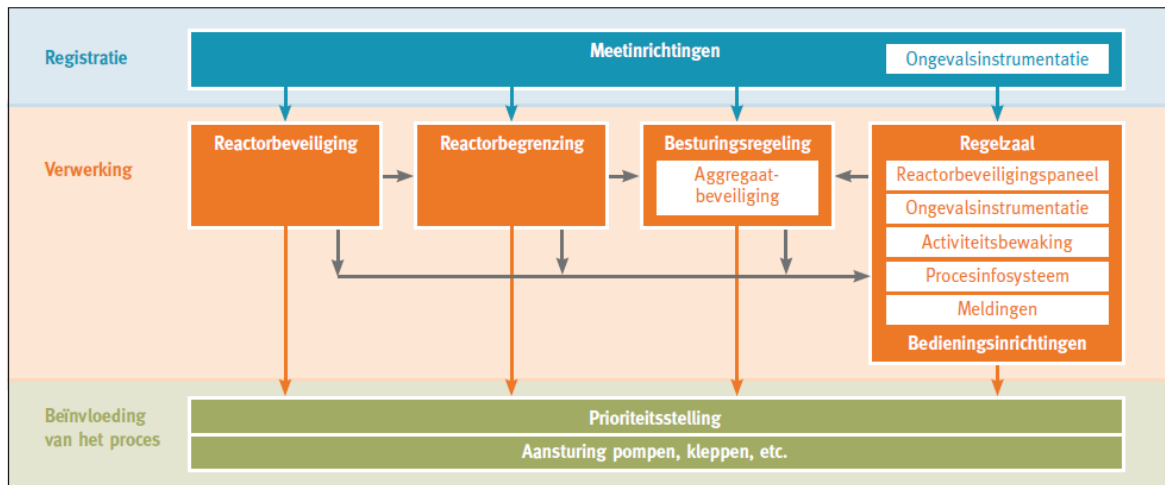
De panelen dienen voor de informatievoorziening en voor het uitvoeren van bedieningshandelingen door het bedienend personeel. De panelen hebben de volgende taken:

- informatie verschaffen over het procesverloop;
- informatie verschaffen over de toestand en functie van de veiligheidssystemen;
- mogelijkheid voor het bedienen van componenten en systemen.

Voor de betrouwbare uitvoering van deze taken zijn meet- en regeltechnische voorzieningen beschikbaar (zie figuur 6.4/1), die alle overeenkomstig het veiligheidstechnische belang en de aan de beschikbaarheid te stellen eisen zijn ontworpen.

Met de meet- en regeltechniek worden verschillende niveaus van beveiliging tegen ontoelaatbare situaties gerealiseerd:

1. besturing en regeling (eerste veiligheidslaag);
2. begrenzing (tweede veiligheidslaag);
3. beveiliging (derde veiligheidslaag).



Figuur 6.4/1 Meet- en regeltechniek, - overzicht –

Meet- en regelsystemen

De beschrijvingen van de benodigde meetvoorzieningen zijn samengevat beschreven in paragraaf 6.4.1. Het deel van deze meetvoorzieningen dat bij ongevallen essentiële informatie aan het wacht personeel verschaft (ongevalsinstrumentatie) wordt in paragraaf 6.4.1.1.4 samengevat. De besturing en regeling van de bedrijfsprocessen tijdens normaal bedrijf, waaronder met name het automatisch bereiken en aanhouden van instelwaarden valt, worden door diverse besturings- en regelinrichtingen uitgevoerd. Deze inrichtingen kunnen aan complete installatiedelen, afzonderlijke systemen of componenten zijn toegewezen. Tot de besturings- en regelinrichtingen behoren eveneens de beveiligingen van aggregaten, die voorkomen dat ontoelaatbare bedrijfstoestanden of foutieve handelingen door het bedieningspersoneel tot schade of storingen aan deze aggregaten leiden.

De reactorbegrenzing voert beschermende acties (grenswaarderegeling) uit, om bewaakte veiligheidsvariabelen tot hun normale bedrijfswaarde terug te brengen. De reactorbegrenzing heeft bovendien tot taak, de procesvariabelen zodanig te begrenzen, dat het reactorbeveiligingssysteem niet hoeft in te grijpen. De hoofdreden hiervoor is het voorkomen van nodeloze belastingen van de centrale. Zo wordt de reactorinstallatie bij storingen, zoals lastafschakeling en overgang op eigen bedrijf, uitval van hoofdkoelmiddelpompen of foutieve inworp van regelelementen, automatisch door de reactorbegrenzing bij gereduceerd vermogen in bedrijf gehouden. Overschrijding van procesgrenswaarden leidt tot het in werking treden van het reactorbeveiligingssysteem.

De reactorbegrenzing maakt gedeeltelijk gebruik van signalen die in het reactorbeveiligingssysteem zijn ontstaan (bijvoorbeeld een glijdende grenswaarde voor het toelaatbare reactorvermogen die afhankelijk is van de bedrijfssituatie).

Een deel van de reactorbegrenzing beïnvloedt ook de instelwaarde van het generatorvermogen of haar begrenzing, om de toestand van de centrale na het optreden van een storing te stabiliseren.

Reactorbeveiligingssysteem (YZ)

Het reactorbeveiligingssysteem (YZ) en de reactorbegrenzing zorgen voor de automatische bewaking van veiligheidstechnische processen en het vaststellen van storingen en ongevallen. Het reactorbeveiligingssysteem (paragraaf 6.4.2) treft met name voor de beheersing van ongevallen automatisch alle maatregelen die voor de instandhouding van de veiligheidsfuncties noodzakelijk zijn (bijvoorbeeld reactorsnelafschakeling, noodvoeding van de stoomgeneratoren, kernnoodkoeling, isolatie van gebouwen).

Panelen

Panelen zijn voorzieningen voor het observeren en bedienen van de centrale of van installatiedelen. Ze zijn met name in de regelzaal ondergebracht, maar gedeeltelijk ook in de reserve-regelzaal en op lokale bedieningspanelen (paragraaf 6.4.3).

Om een betrouwbare informatievoorziening aan het wachtpersoneel in de regelzaal te waarborgen, worden de gegevens van de onderstaande voorzieningen speciaal bewerkt en afzonderlijk in de regelzaal weergegeven:

- reactorbeveiligingssysteem (paragraaf 6.4.2);
- ongevalsinstrumentatie (paragraaf 6.4.1.1.4);
- activiteitsbewaking (paragraaf 11.3);
- procesinformatiesysteem (paragraaf 6.4.3.2);
- storingsmeldingssysteem (paragraaf 6.4.1.3).

Via de bedieningsvoorzieningen kan direct, of door verandering van de instelwaarden van de regelingen indirect, invloed worden uitgeoefend op de bedrijfsvoering van de reactorinstallatie, de systemen of de componenten.

De centrale wordt met behulp van de bovengenoemde meet- en regelinrichtingen (inclusief regelzalen) bedreven door het aansturen van componenten (bijvoorbeeld pompen, afsluiters). Bij de aansturing van componenten wordt via een prioriteitsstelling gewaarborgd, dat aansturingssignalen met groter veiligheidstechnisch belang een hogere prioriteit krijgen. Zo heeft bijvoorbeeld de aansturing door het reactorbeveiligingssysteem voorrang boven alle andere handmatige en automatische aansturingen. De aansturing door de reactorbegrenzing heeft voorrang boven bedrijfsregelingen en besturingssystemen (uitgezonderd de beveiliging van apparaten), alsmede boven aansturing vanuit de regelzaal.

6.4.1 Meet- en regelsystemen

6.4.1.1 Meettechniek

6.4.1.1.1 Reactormeettechniek

De reactormeettechniek gaat over het meten van grootheden die direct betrekking hebben op de reactor en omvat de onderstaande systemen:

- neutronenfluxdichtheidsmeting buiten de kern (extern kernmeetsysteem)
Dit buiten het reactorvat opgestelde meetsysteem levert de signalen voor de bewaking van het integrale vermogen van de kern. De signalen worden met name in het reactorbeveiligingssysteem en in de reactorbegrenzing verwerkt
- kerninstrumentatie (intern kernmeetsysteem)
Dit meetsysteem in de reactor kern levert de signalen ter bepaling van de driedimensionale verdeling van de vermogensdichtheid en voor de bewaking daarvan.

6.4.1.1.1.1 Neutronenfluxdichtheidsmeting buiten de kern

De neutronenfluxdichtheidsmeting bestaat uit de onderstaande groepen meetkanalen:

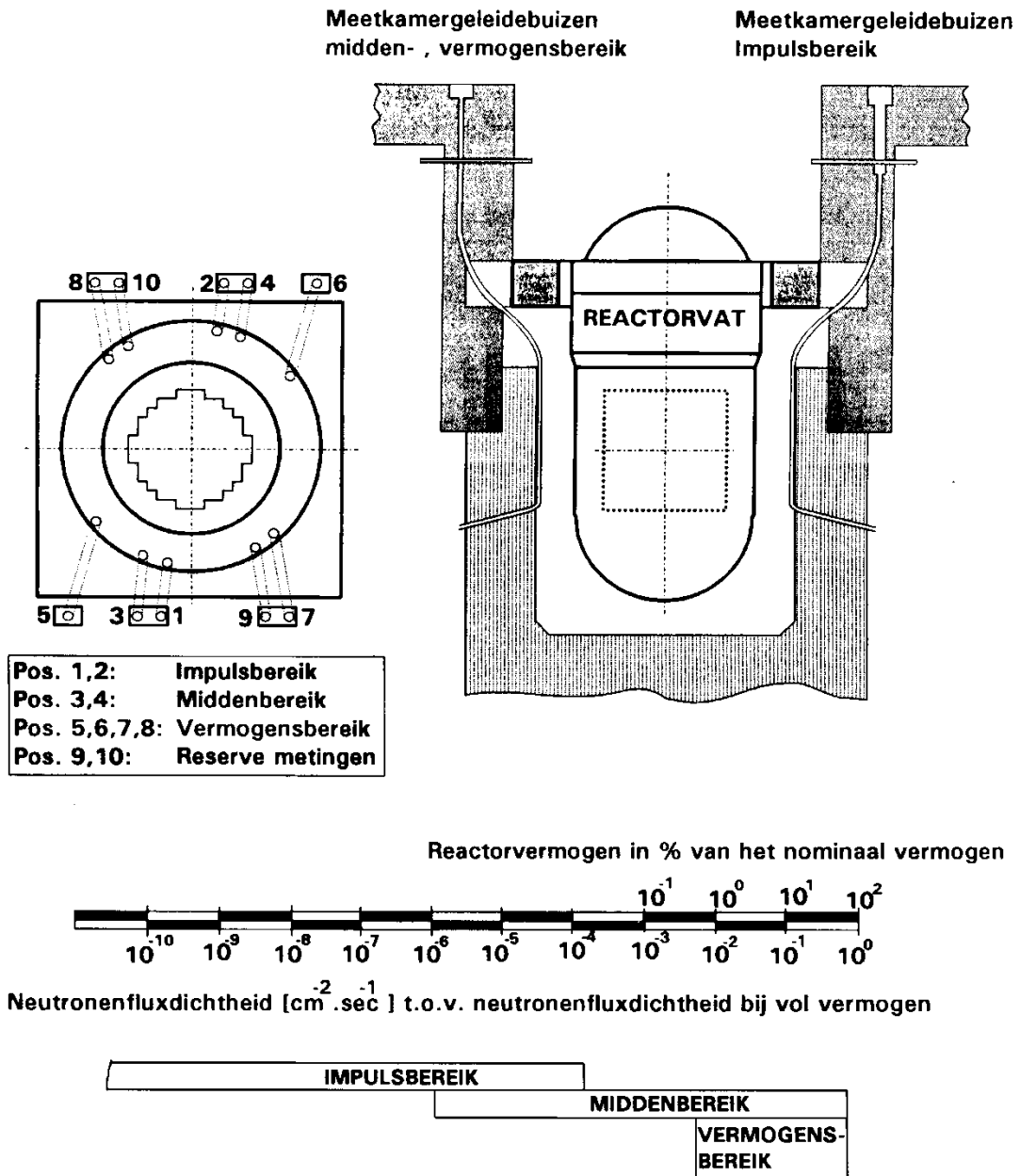
- meetkanaalgroep voor het impuls bereik;
- meetkanaalgroep voor het midden bereik;
- meetkanaalgroep voor het vermogens bereik.

Deze meetkanaalgroepen bewaken door middel van hun buiten het reactorvat aangebrachte detectoren het kernvermogen vanaf de koud-onderkritische toestand tot aan 120 % van het nominale vermogen. Daartoe dient de fluxdichtheid van thermische neutronen over een bereik van ongeveer 10 decaden te kunnen worden gemeten (zie figuur 6.4.1.1.1.1/1).

De verwerking van de signalen van de afzonderlijke meetkanaalgroepen gebeurt redundant in meetkasten in het schakelgebouw (05) en voor het ongevalsbestendige middenbereik meetkanaal in het reservesuppletiegebouw (33).

De elektrische voeding vindt plaats vanaf de 24 V gelijkspanningsrails EH/EJ van noodstroomnet 1 en voor het ongevalsbestendige kanaal door de 24 V gelijkspanningsrails FB/FC van noodstroomnet 2.

Het ontwerp van het neutronenfluxdichtheidsmeetsysteem heeft een drievoudige opbouw. Een uitzondering hierop vormt het impuls bereik dat een tweevoudige opbouw heeft. Dit bereik wordt alleen bij in- en uitbedrijfname ingeschakeld, maar tijdens vermogensbedrijf uitgeschakeld.



Figuur 6.4.1.1.1/1 Neutronenfluxdichtheid buiten de kern; meetbereik en ruimtelijke opstelling van de detectoren

Impulsbereik

De meetkanaalgroep voor het impulsbereik bewaakt met twee redundante meetkanalen de onderste 7 decaden van de neutronenfluxdichtheid.

De beide meetkanalen hebben elk een BF₃-telbuis als detector. Deze worden bij toename van het vermogen in het vermogensbereik samen met de bijbehorende impulsvoorversterker uit het gebied met een hoge neutronenfluxdichtheid teruggetrokken.

De detectorsignalen (impulsen) worden verder verwerkt in het reactorbeveiligingssysteem alsmede weergegeven/geregistreerd in de regelzaal. Ieder meetkanaal beschikt over bijbehorende stroomvoorzienings-, bewakings- en testelektronica.

Middenbereik

De meetkanaalgroep voor het middenbereik bewaakt op twee posities rond de kern met twee meetkamers per positie (totaal vier meetkanalen) circa 6 decaden van de neutronenfluxdichtheid. Als detector wordt voor elk meetkanaal een gecompenseerde ionisatiekamer gebruikt. De detectorsignalen worden verder verwerkt in het reactorbeveiligingssysteem, alsmede weergegeven/geregistreerd in de regelzaal. Ieder meetkanaal beschikt over bijbehorende stroomvoorzienings-, bewakings- en testelektronica. Een meetkanaal is ongevalsbestendig.

Vermogensbereik

De meetkanaalgroep voor het vermogensbereik bewaakt met vier redundante meetkanalen de twee bovenste decaden van de neutronenfluxdichtheid (tot 120 % van het nominaal vermogen). Als detector wordt voor elk van de vier over de hoogte van de kern verdeelde meetkanalen een niet-gecompenseerde ionisatiekamer gebruikt. De detectorsignalen worden verder verwerkt in het reactorbeveiligingssysteem en in de reactorbegrenzing, alsmede weergegeven/geregistreerd in de regelzaal. Ieder meetkanaal beschikt over bijbehorende stroomvoorzienings-, bewakings- en testelektronica.

6.4.1.1.1.2 **Kerninstrumentatie**

De kerninstrumentatie omvat de volgende meetsystemen:

- kogelmeetsysteem;
- hoofdkoelmiddeltemperatuurmeetsysteem.

Kogelmeetsysteem

Het kogelmeetsysteem is een discontinu functionerend bedrijfsmeetsysteem, dat de relatieve axiale en radiale neutronenfluxdichtheidsverdeling in de reactorkern bepaalt. Als indicator wordt een kolom met vanadiumhoudende stalen kogels langs de actieve kernhoogte gebruikt. In 24 geselecteerde splijtstofelementposities is een sondebuis aangebracht, waarin telkens één kogelkolom pneumatisch wordt ingeschoten. Hierdoor worden de kogels in het heersende stralingsveld geactiveerd. Na afloop van de vooraf vastgestelde bestralingstijd worden de kogelkolommen pneumatisch afgevoerd naar een zich nabij de reactor bevindende ruimte.

Daar wordt de activiteitsverdeling over 6 kogelkolommen gelijktijdig automatisch gemeten met behulp van een met halfgeleiderdetectoren uitgerust meetpaneel. De evaluatie en registratie van de gemeten waarden vindt plaats met het Proces Presentatie Systeem (PPS). De gemeten activiteitsverdelingen zijn evenredig met de neutronenfluxdichtheid en daarmee ook met de verdeling van de vermogensdichtheid op de plaatsen van activering. Een programmabesturing verzorgt de gehele regeling en bewaking van een meting.

De voeding vindt plaats vanaf de 24 V gelijkspanningsrails EH/EJ van noodstroomnet 1 en de 400 V wisselspanningsrails FN van noodstroomnet 1.

De 24 V-gelijkspanningsvoeding vanaf de rails EH/EJ naar de kasten waarin het kogelmeetsysteem zich bevindt, is redundant uitgevoerd en de 400 V wisselspanningsvoeding vanaf rail FN naar de kasten waarin het kogelmeetsysteem zich bevindt is enkelvoudig uitgevoerd.

Hoofdkoelmiddeltemperatuurmeetsysteem

De belangrijkste taak van het hoofdkoelmiddeltemperatuurmeetsysteem is de bewaking van de hoofdkoelmiddeltemperatuur in de reactor tijdens normaal bedrijf. Het meetsysteem in het reactorvat omvat de meting van de kernuittredetemperatuur en het temperatuurverschil (opwarmmarge) over de splijststofelementen.

De kernuittredetemperatuur wordt gemeten in het gebied van de koppen van de splijststofelementen. Als opnemers zijn 24 mantelthermokoppels geïnstalleerd, die ter hoogte van de kop van het splijststofelement alle met de 24 sondes van het kogelmeetsysteem verbonden zijn. Om het temperatuurverschil tussen de hoofdkoelmiddelleidingen (opwarming van de kern) te bepalen, zijn er temperatuurmeetpunten in de beide hoofdkoelmiddelleidingen tussen het reactorvat en de hoofdkoelmiddelpompen geïnstalleerd.

De voeding vindt plaats vanaf de 24 V gelijkspanningsrails EH/EJ van noodstroomnet 1 en is via diode-ontkoppeling redundant uitgevoerd.

6.4.1.1.2 **Conventionele meettechniek**

De conventionele meettechniek omvat de niet reactormetingen, zoals:

- drukmetingen;
- niveaumetingen;
- debietmetingen;
- temperatuurmetingen;
- toerentalmetingen;
- spanningsmetingen.

Deze metingen geven genormaliseerde en ontkoppelde ingangssignalen aan:

- de besturings- en regelinrichtingen;
- het reactorbeveiligingssysteem en de reactorbegrenzing;
- de bedrijfsbewaking en -registratie van de hele centrale.

Metingen ten behoeve van het reactorbeveiligingssysteem zijn in het algemeen drievoudig redundant uitgevoerd en elke meting wordt tweevoudig redundant, ononderbroken voorzien van elektrische voeding. De meetvormers voor de reactorbeveiligingsmetingen zijn geïnstalleerd in tegen invloeden van buitenaf beschermde gebouwen.

Wanneer de metingen voor de reactorbeveiliging ook voor de bedrijfsvoering worden gebruikt, zijn de verschillende uitgangen galvanisch ontkoppeld. Wanneer de metingen van een redundantie voor het reactorbeveiligingssysteem ook in een andere redundantie wordt gebruikt, zijn de uitgangen eveneens galvanisch gescheiden.

Drukmetingen

In bijna alle processystemen worden drukmetingen verricht. De hier beschreven kenmerken gelden in het bijzonder voor drukmetingen in de hoofdkoelmiddelleidingen, stoomgeneratoren en bij de drukhouder. Via meetleidingen zijn de meetvormers voor de druk respectievelijk het drukverschil verbonden met de meetstompen op de pijpleidingen en reservoirs. In een meetdrukleiding is minimaal één afsluiter aangebracht om de meetvoorziening te kunnen isoleren van het proces.

Temperatuurmetingen

In bijna alle processystemen en componenten, zoals het reactorkoelsysteem, de drukhouder, de hoofdkoelmiddelpompen en de stoom/waterkringloop, worden temperatuurmetingen uitgevoerd. Als

opnemer wordt er, al naar gelang de eisen die gesteld worden, gebruik gemaakt van weerstandsthermometers, thermokoppels of een combinatie hiervan.

Niveaumeting in het reactorvat

Het niveau in het reactorvat wordt door twee meetsondes die zich in het reactorvat bevinden, bewaakt.

Deze sondes hebben de volgende bedrijfs- en veiligheidsfuncties:

- meting van de groei van een stoombel onder het reactorvatdeksel;
- meting van de waterhoogte boven de kern ten behoeve van het reactorbeveiligingssysteem.

De twee meetsondes zijn elk in een geleidebuis in het bovenste deel van het reactorvat aangebracht. De meetsondes bestaan elk uit 3 opnemers (grenswaardesensoren). Vier sensoren zijn zodanig geplaatst dat er een signaal ontstaat als het niveau ter hoogte van de onderkant van de hoofdkoelmiddelleidingen daalt (2v3 en een sonde als reserve). De meetsignalen van deze opnemers worden verwerkt door het reactorbeveiligingssysteem dat ervoor moet zorgen dat de kern met voldoende water bedekt is. De twee bovenste opnemers signaleren het ontstaan en de groei van een stoombellen in de ruimte onder het reactorvatdeksel.

De werking van de opnemers van de niveausondes in het reactorvat berust op een elektrothermisch meetprincipe, waarbij gebruik wordt gemaakt van het sterk verschillende warmtegeleidingsvermogen van water en waterdamp. Als het waterniveau daalt tot beneden de opnemers, wordt een signaal gegenereerd (opnemer bedekt door water ja/nee).

De instrumentatie is ongevalsbestendig, dat wil zeggen bestand tegen de omgevingscondities die het gevolg van een ongeval kunnen zijn.

De voeding vindt plaats vanaf de ononderbroken 400 V rails CY/CZ van noodstroomnet 2.

Door de 3-voudige opbouw is bij uitval van een meetkanaal het minimaal aantal redundanties nog aanwezig.

Niveaumeting in de hoofdkoelmiddelleidingen

In elk van de hete benen van de beide hoofdkoelmiddelkringlopen wordt het niveau van het koelmiddel door middel van een drukverschilmeting bepaald. Deze niveaumeting heeft de volgende bedrijfs- en veiligheidstechnische functies:

- verschaffen van informatie over het niveau in het reactorkoelsysteem tijdens een splijtstofwisseling;
- beveiliging van de nakoelpompen (TJ);
- alarmering;
- blokkeren van het onttrekken van hoofdkoelmiddel;
- informatie verschaffen over het niveau in het reactorkoelsysteem na een koelmiddelverliesongeval.

De meetpunten voor de drukverschilmeting bevinden zich steeds in het bovenste en in het onderste deel van de hoofdkoelmiddelleidingen. De instrumentatie is ongevalsbestendig.

De voeding vindt plaats vanaf de 24 V gelijkspanningsrails EH/EJ van noodstroomnet 1 en zijn via diode-ontkoppeling redundant uitgevoerd.

Niveaumetingen in overige systemen

De in diverse systemen toegepaste niveaumetingen berusten primair op het principe van de drukverschilmeting.

6.4.1.1.3 **Positie van de regelementen**

De positie van de regelementen wordt continu met een analoog en een digitaal meetprincipe bepaald. De analoge meetwaarden van de posities van de regelementen worden afzonderlijk weergegeven op een paneel in de regelzaal. De digitale positie-aanwijzing gebeurt afzonderlijk in de regelzaal. Indien het verschil tussen de door het digitale en analoge systeem gemeten positie meer bedraagt dan 10 % volgt een alarmmelding in de regelzaal.

Analoog meetprincipe

Per regelement is een luchtkerntransformator toegepast, die over een lengte van circa 3 meter over de regelstaafaandrijving geschoven is. Dit komt overeen met een volledig uit de kern getrokken regelement. Als een regelement in de kern wordt bewogen, is de aandrijfslag minder ver in de luchttransformator geschoven waardoor de magnetische koppeling in de transformator verandert en daarmee de secundaire spanning (uitgangssignaal). Dit uitgangssignaal is een maat voor de stand van het regelement.

Digitaal meetprincipe

Een stappenteller registreert het aantal inschakelsignalen van de hefspool van de regelstaafaandrijving en daarmee de positie van het regelement.

6.4.1.1.4 **Ongevalsinstrumentatie**

De ongevalsinstrumentatie heeft tot doel om tijdens en na een ernstig ongeval onder de dan heersende omgevingscondities informatie te verschaffen ter beoordeling van het verloop van het proces en de toestand en functie van de veiligheidssystemen.

Deze instrumentatie is ontworpen om te functioneren onder de tijdens een ongeval in de betreffende omgeving heersende condities van temperatuur, druk, vochtigheid en stralingsdosis. De ongevalsinstrumentatie omvat bijvoorbeeld de volgende soorten metingen:

- drukmeting in het primair systeem;
- drukmetingen in de kerninundatiebuffertanks (TJ);
- drukmeting in de hoofdstoomleidingen (RA);
- exposietempometingen in het reactor- en reactorhulpgebouw (01,02,03);
- grootbereik exposietempometing binnen de veiligheidsomhulling (01).

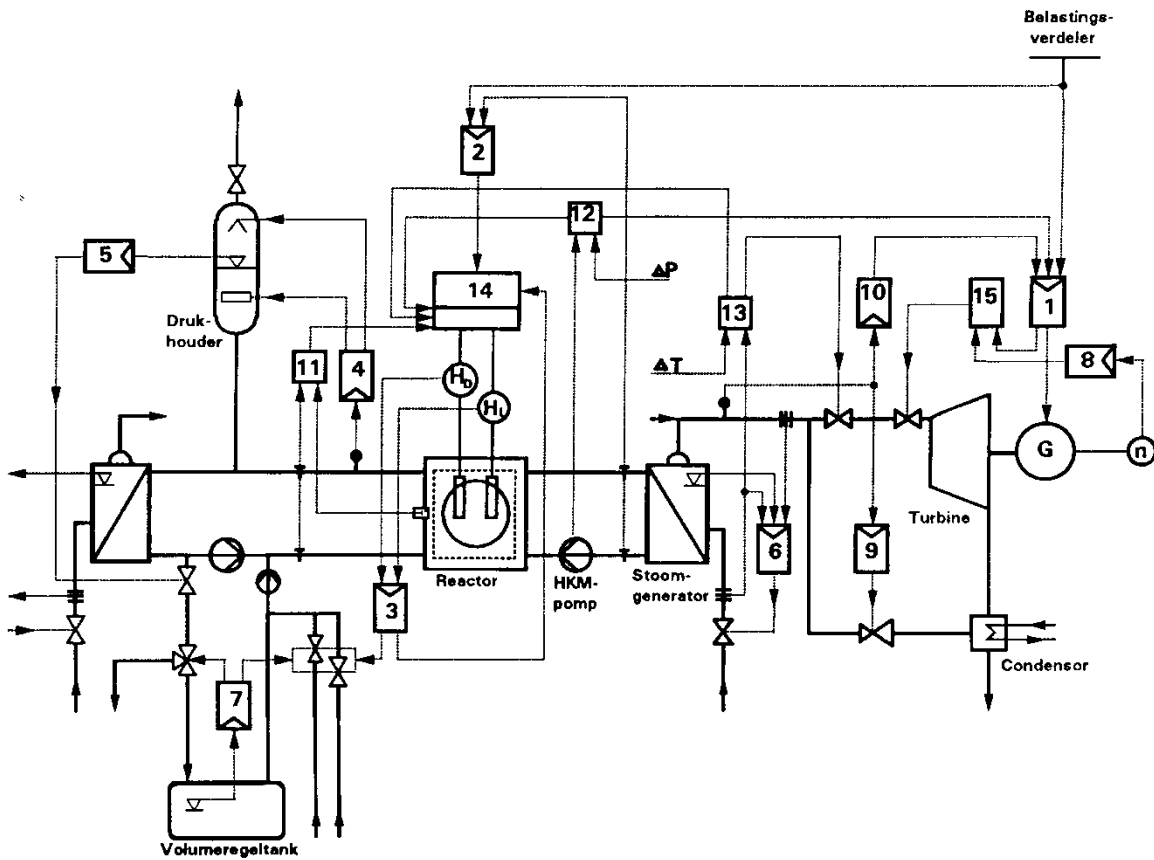
De metingen worden zowel in de regelzaal als in de reserve-regelzaal gepresenteerd en ook door het Proces Presentatie Systeem (PPS) geregistreerd. In de reserve-regelzaal worden uitsluitend geselecteerde meetwaarden van de OBA-metingen geregistreerd en gepresenteerd.

6.4.1.2 **Besturings- en regelinrichtingen**

De besturings- en regelinrichtingen hebben tot taak het proces van de stroomopwekking door nucleaire warmte tijdens normaal bedrijf (in- en afschakelen/vermogensbedrijf) zo te laten verlopen, dat de vooraf instelde procesparameters binnen de vastgestelde tijd automatisch bereikt worden. De belangrijkste regelinrichtingen tijdens normaal bedrijf zijn:

- vermogensregeling;
- reactorbegrenzing (grenswaarderegeling);
- druk- en waterniveauregeling.

De meeste van deze regelinrichtingen worden centraal vanuit de regelzaal bediend en bewaakt. De spanningsvoorziening van de regelinrichtingen wordt door aansluiting op noodstroomrails respectievelijk gelijkstroominstallaties gewaarborgd.



1 Generatorvermogensregeling	13 Reactorvermogensbegrenzing bij uitval van / verstoringsen in de hoofdvoedingswater-voorziening
2 Hoofdcoolmiddeltemperatuurregeling	14 Aansturing regelementen
3 Positieregeling/-begrenzing regelementen	15 Aansturing turbine-inlaatklep
4 Hoofdcoolmiddeldrukregeling/-begrenzing	$H_{D,L}$ Insteekdiepte van de D- en L-bank
5 Waterniveauregeling/-begrenzing drukhouder	T Temperatuur
6 Waterniveauregeling stoomgenerator	\bullet Drukmeting
7 Waterniveauregeling volume-vereffeningstank	\equiv Debietmeting
8 Toerentalbegrenzing turbogenerator	\boxplus Neutronenfluxdichtheidsmeting
9 Hoofdstoom-maximumdrukregeling	∇ Niveaumeting
10 Hoofdstoom-minimumdrukregeling	\odot Toerentalmeting
11 Reactorvermogensbegrenzing	
12 Regelementinworp	

| Figuur 6.4.1.2/1 Besturing en regeling: overzicht

6.4.1.2.1 Vermogensregeling

Drukwaterreactoren hebben tijdens vermogensbedrijf de eigenschap, de vraag naar vermogen automatisch te volgen doordat een verandering van de vermogensafname resulteert in een verandering van de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur waardoor het reactorvermogen zich vanzelf aanpast. Het betreft een zelfregelende eigenschap van het proces waarop het principe van de vermogensregeling is gebaseerd.

Het veranderen van het gevraagde vermogen gebeurt door de instelwaarden van de generatorvermogensregeling (zie figuur 6.4.1.2/1) te veranderen. Deze regelt de stand van de turbine-inlaatkleppen met als gevolg een verandering van de hoofdstoomdruk en daarmee van de hoofdstoomtemperatuur. Deze laatste staat in een vermogensafhankelijke relatie tot de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur. In geval van verstoringen die niet door het zelfregelende effect van de reactor worden opgevangen past de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling het reactorvermogen zo aan, dat de afwijking van de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur van haar instelwaarde, volgens het stationair deellastdiagram, binnen een bepaalde marge blijft.

De hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling functioneert op grond van de **tweede** maximale waarde van de **gemeten** hoofdkoelmiddeltemperatuur. Deze **tweede** maximale waarde wordt bepaald uit de vier aan de primaire stoomgenerator in- en uitlaten gemeten gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperaturen (2 metingen per kringloop).

De vermogensbank van de regelementen (L-bank) vormt het verstelmechanisme voor de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling bij snelle en grote vermogensveranderingen; bij kleine of langzame vermogensveranderingen is dit de dopplerbank (D-bank).

Beide banken kunnen gebruikt worden om de gewenste vermogensverandering tot stand te brengen door de totale reactiviteit van de reactor kern te veranderen. Alleen de D-bank wordt gebruikt om de reactiviteitseffecten van splijstoftemperatuur (doppler-reactie) en hoofdkoelmiddeltemperatuur te compenseren.

Met behulp van de positieregeling wordt de vermogensregelende L-bank zo gunstig mogelijk ingesteld (regelementen bijna geheel getrokken zodat voldoende afschakelreactiviteit aanwezig is en de opbrand van de kern zoveel mogelijk verdeeld is). De D-bank vormt het verstelmechanisme van deze regeling. De positieregeling van de D-bank zorgt door een gerichte boorzuur-respectievelijk deminwaterdosering in het hoofdkoelmiddel voor het volgen van de vooraf vastgestelde arbeidscurve van de D-bank.

De regelstaaf-instuurbegrenzing waarborgt een van het reactorvermogen **onafhankelijke**, beperkte instuurdiepte van de regelstaven van de L- ~~en D~~-bank. **Als de regelstaven van de D-bank de reactorvermogen afhankelijke instuurdiepte overschrijden zal dit door een boorzuurdosering gecompenseerd worden.** Hierdoor wordt de voor het snel afschakelen van de reactor noodzakelijke afschakelreactiviteit, ook onder ongunstige uitgangcondities, gewaarborgd.

De regelementen worden bediend met behulp van de regelstaafbesturing, deze maakt de volgende bedrijfswijzen mogelijk:

- Handbesturing
Elk regelement kan afzonderlijk of in willekeurig grote groepen handmatig vanuit de regelzaal in- of uitgestuurd worden
- Besturing door de regelinrichting
Alle regelementen van de L- en D-bank worden in vastgestelde groepen in- of uitgestuurd.

Bovengenoemde bedrijfswijzen zijn ondergeschikt aan de reactorbegrenzing; deze kan met voorrang het in- en uitsturen van de regelstaven blokkeren of deze zelf insturen. Als het eventueel

noodzakelijk mocht zijn om het reactorvermogen snel te laten dalen (bijvoorbeeld bij het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp), wordt de inworp van regelementen geactiveerd.

Bij een reactorsnelafschakeling (RESA) worden alle regelementen onafhankelijk van de hierboven beschreven aansturingen spanningsloos geschakeld en vallen ze door de zwaartekracht in de kern.

6.4.1.2.2 Reactorbegrenzing (grenswaarderegeling)

De reactorbegrenzing (grenswaarderegeling) bevat voorzieningen, die verhinderen dat enkele geselecteerde procesvariabelen vooraf ingestelde grenswaarden overschrijden.

Bij het bereiken van deze grenswaarden wordt bijvoorbeeld een verdere stijging van het vermogen als gevolg van het uitsturen van regelementen tegengegaan, en wordt het reactorvermogen door passende maatregelen gereduceerd tot een voor die situatie toegelaten, veilige, waarde. De centrale kan op deze manier bij een lager vermogen in bedrijf gehouden worden.

De reactorbegrenzing dient om te voorkomen dat grenswaarden van de reactorbeveiliging bereikt worden en zo de beschikbaarheid van de centrale te verhogen en om de onderdelen van de installatie te ontzien. Het werkgebied van de reactorbegrenzing ligt tussen dat van de bedrijfsregelingen en de grenswaarden van het reactorbeveiligingssysteem.

6.4.1.2.2.1 Reactorvermogensbegrenzing

Neutronenfluxdichtheidsbegrenzing

Tijdens normaal bedrijf wordt het reactorvermogen vertraagd aangepast aan het generatorvermogen door de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling. Deze regeling kan echter niet constateren of het totale vermogen dat van de reactor verlangd wordt te groot is, omdat er bijvoorbeeld bij een generatorvermogen van 100 % nog extra hoeveelheden stoom worden afgenomen (hulpstoomafname voor de voedingswatertank, uitvallen van voedingswatervoorwarmers, foutief openen van een klep van de turbine-omloopleiding etc).

In deze gevallen wordt een overbelasting door de neutronenfluxdichtheidsbegrenzing voorkomen. Bij het overschrijden van een grenswaarde die gelijk is aan het met 5 % gereduceerde signaal van de "glijdende grenswaarde van het reactorvermogen" (reactorbeveiligingssysteem) wordt de neutronenfluxdichtheidsbegrenzing geactiveerd. [De neutronenfluxdichtheidsbegrenzing kan ook geactiveerd worden door andere reactorbegrenzings.](#)

Door de neutronenfluxdichtheidsbegrenzing wordt het uitsturen van alle regelementen geblokkeerd en [worden geselecteerde regelstaven ingestuurd. Tegelijkertijd wordt](#) het reactorvermogen op het niveau van de instelwaarde van het generatorvermogen geregeld.

Als hierdoor de hoofdkoelmiddeltemperatuur en daarmee ook de hoofdstoomdruk ontoelaatbaar daalt, zorgt de minimumdrukregeling van de hoofdstoom ervoor dat het generatorvermogen daalt door de turbine-inlaatafsluiters dicht te sturen.

De neutronenfluxdichtheidsbegrenzing is [tweevoudig-viervoudig](#) uitgevoerd. ~~Om onterecht aanspreken te voorkomen,~~ Er wordt pas ingegrepen als [2 kanalen zijn geactiveerd beide signalen aanspreken](#) (2 van [2-4 principe](#)).

Kookmargebegrenzing

Aanspreekcriterium voor de kookmargebegrenzing is het onderschrijden van een druk als grenswaarde, die op een vaste afstand boven de bijbehorende grenswaarde van het reactorbeveiligingssysteem, en boven de dampspanning van de heersende reactortemperatuur is gelegen.

Door de kookmargebegrenzing wordt, ~~het reactorvermogen verlaagd tot 90 % van de instelwaarde van het generatorvermogen en tegelijkertijd wordt via de neutronenfluxdichtheidsbegrenzing, het actuele reactorvermogen met 10 % verlaagd geactiveerd.~~

De kookmargebegrenzing is ~~tweevoudig-viervoudig~~ uitgevoerd. ~~Om onterecht aanspreken te voorkomen, Er wordt pas ingegrepen als 2 kanalen zijn geactiveerd beide signalen aanspreken~~ (2 van ~~2~~ 4 principe).

6.4.1.2.2.2 Regelementinworp

Om bij bepaalde transiënten een onnodige reactorsnelafschakeling (RESA) te voorkomen, wordt (naast andere begrenzingen) de inworp van (een aantal) regelementen geactiveerd.

Voorbeelden van dergelijke transiënten zijn lastafschakeling, snelle reducties van het turbinevermogen, het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp, of te hoge druk, ~~of te hoge temperatuur~~ in het primair systeem. Het aantal regelementen dat moet worden ingeworpen, wordt bepaald door de grootte van de voorafgaande vermogenssprong, of bij het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp door het dan maximaal toelaatbare stationaire reactorvermogen. Bij druktoename in het primair systeem worden dezelfde inworpmaatregelen uitgevoerd als bij het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp. Bij een elementinworp vanwege het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp wordt ook de instelwaarde van het generatorvermogen automatisch verlaagd. Om bij een snelle reactorvermogensdaling een te snelle afkoeling van het primair systeem te voorkomen wordt de instelwaarde van het generatorvermogen bij elementinworp verlaagd.

De voorzieningen voor de inworp van regelementen zijn ~~redundant~~ viervoudig uitgevoerd.

6.4.1.2.2.3 Hoofdstoom-minimumdrukregeling

Bij een daling van de hoofdstoomdruk vóór de turbine (bijvoorbeeld door energiebalansverstoringen tussen secundaire en primaire zijde) tot een waarde van circa 3 bar beneden de instelwaarde zorgt de hoofdstoom-minimumdrukregeling voor een reductie van het generatorvermogen.

Regelparameter is de gemeten hoofdstoomdruk in de verzamelleiding tussen de beide hoofdstoomleidingen. De regelwaarde van de hoofdstoom-minimumdrukregeling heeft een reducerend effect op de instelwaarde van de generatorvermogensregelaar en daarmee op de inlaatafsluiters van de turbine.

6.4.1.2.2.4 Hoofdstoom-maximumdrukregeling

Bij energiebalansverstoringen tussen secundaire en primaire zijde bij een stijgende hoofdstoomdruk (bijvoorbeeld bij een reductie van het turbinevermogen) zorgt de hoofdstoom-maximumdrukregeling ervoor dat de maximaal toelaatbare hoofdstoomdruk niet overschreden wordt.

Regelparameter is de gemeten hoofdstoomdruk in de verzamelleiding tussen beide hoofdstoomleidingen. De regelwaarde van de hoofdstoom-maximumdrukregeling zorgt ervoor dat de turbine-omloopafsluiters geopend worden. Hierdoor wordt de overtollige stoom naar de condensors

geleid. Om de effectiviteit van de hoofdstoom-maximumdrukregeling te vergroten, worden er bij grote vermogensdalingen van de turbine regelementen ingeworpen. De hoofdstoom-maximumdrukregeling is redundant uitgevoerd.

6.4.1.2.2.5 Toerentalbegrenzing van de turbogenerator

De toerentalbegrenzing van de turbogenerator levert één van de twee instelwaarden van de openingsregelaar van de turbine-inlaatafsluiters. De andere instelwaarde wordt geleverd door de vermogensregelaar. De openingsregelaar bepaalt aan de hand van deze instelwaarden de opening van de turbine-inlaatafsluiters. Het werkelijke toerental wordt gemeten op de turbine-as. De meting is dubbel uitgevoerd, waarbij de gemeten waarden met elkaar worden vergeleken. Deze regeling vormt bij het in bedrijf nemen en bij eigenbedrijfsverzorging van de generator de normale toerentalregeling door de turbogenerator. De instelwaarde wordt dan handmatig ingesteld.

6.4.1.2.2.6 Hoofdkoelmiddeldrukbegrenzing

De hoofdkoelmiddeldrukbegrenzing moet voorkomen dat de hoofdkoelmiddeldruk tijdens normaal bedrijf en tijdens in-/uitbedrijfname van de centrale een minimum grenswaarde onderschrijdt danwel een maximum grenswaarde overschrijdt, waardoor bij een verdere daling danwel stijging van de hoofdkoelmiddeldruk de grenswaarden voor de reactorbeveiliging zouden worden bereikt.

De begrenzing maakt hiervoor gebruik van het met voorrang in-/uitschakelen van de verwarmingselementen van de drukhouderverwarming in combinatie met het dicht/-opensturen van de sproeikleppen in de drukhouder.

6.4.1.2.2.7 Drukhouderniveaubegrenzing

De drukhouderniveaubegrenzing moet voorkomen dat het niveau in de drukhouder tijdens normaal bedrijf en tijdens in-/uitbedrijfname van de centrale een minimum grenswaarde onderschrijdt danwel een maximum grenswaarde overschrijdt, waardoor bij een verdere daling danwel stijging van het drukhouderniveau de grenswaarden voor de reactorbeveiliging zouden worden bereikt.

De begrenzing maakt hiervoor gebruik van het met voorrang dicht/-opensturen van de hogedruk- en lagedrukreduceerendafsluiters in de hoofdkoelmiddelaftapleidingen.

Als additionele bescherming tegen het overvullen van de drukhouder, waardoor een verdere drukregeling niet meer mogelijk is, worden bij het overschrijden van een bepaalde grenswaarde de volumeregelpompen met voorrang uitgeschakeld en de sproeikleppen in de drukhouder dichtgestuurd.

6.4.1.2.2.8 Hoofdkoelmiddeltemperatuurbewaking na een reactorafschakeling

In geval van een onderkoelingstransient na een reactorafschakeling waardoor als gevolg van de toenemende reactiviteit de reactor weer kritisch zou kunnen worden, wordt automatisch gestart met het opboreren van het primair systeem. Hierdoor wordt voorkomen dat de reactor weer kritisch zou kunnen worden.

De hoofdkoelmiddeltemperatuurbewaking is viervoudig uitgevoerd. Er wordt pas ingegrepen als 2 kanalen geactiveerd zijn (2 van 4 principe).

6.4.1.2.3 Druk- en waterniveauregelingen

6.4.1.2.3.1 Hoofdkoelmiddeldrukregeling

De hoofdkoelmiddeldrukregeling heeft tot taak om, onafhankelijk van temperatuurveranderingen in het reactorkoelsysteem, een constante vastgestelde druk te handhaven.

Regelparameter is de hoofdkoelmiddeldruk, die in de hete benen van de beide hoofdkoelmiddelkringlopen dubbel gemeten wordt.

Het tweede maximumDrie van deze meetwaarden worden ten voor het bepalen van de grenswaarden gebruikt. Aan de hand van deze grenswaarden stuurt de hoofdkoelmiddel-drukregeling het verwarmingselement (voor het verhogen van de druk) en de sproeikleppen (voor het verlagen van de druk) in de drukhouder aan. Hierdoor wordt de water- en stoominhoud van de drukhouder dusdanig beïnvloed dat de regel-parameter "hoofdkoelmiddeldruk" zoveel mogelijk overeenkomt met de instelwaarde.

Tijdens het in- respectievelijk uitbedrijf nemen van de reactor volgt de hoofdkoelmiddeldrukregeling een curve die van tevoren is vastgesteld.

De hoofdkoelmiddeldrukregeling wordt gevoed door de 24 V gelijkspanningsrails EH/EJ van noodstroomnet 1.

~~De regeling is opgebouwd uit drie strangen. De bekrachtigingssignalen voor sproeiers en verwarmingsgroepen worden door een 2v3 schakeling gerealiseerd. De hoofdkoelmiddeldrukregeling is tweevoudig uitgevoerd.~~

6.4.1.2.3.2 Waterniveauregeling van de drukhouder

Als gevolg van temperatuurveranderingen respectievelijk lekkages wijzigt het hoofdkoelmiddelvolume in het reactorkoelsysteem en daarmee het niveau in de drukhouder. Afwijkingen van korte duur van de instelwaarde, die veroorzaakt worden door een verandering in de hoofdkoelmiddeltemperatuur, worden gecompenseerd door de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling.

Afwijkingen van de instelwaarde, die veroorzaakt worden door een verschil tussen afname en voeding van het volumeregelsysteem (TA), worden door de waterniveauregeling van de drukhouder gecompenseerd. Regelparameter is het in de drukhouder gemeten waterniveau, dat afhankelijk is van het debiet in de hoofdkoelmiddelaftap- en de hoofdkoelmiddeltoevoerleidingen.

Het waterniveau in de drukhouder wordt geregeld met behulp van de hogedruk-reduceerafsluiters in de hoofdkoelmiddelaftapleiding. Bij een te sterk dalend waterniveau in de drukhouder (bijvoorbeeld bij een kleine lekkage), wordt een tweede volumeregelpomp ingeschakeld.

De waterniveauregeling in de drukhouder is per hogedrukreduceerafsluiter tweevoudig enkelvoudig uitgevoerd. De voeding vindt plaats vanaf de 24 V gelijkspanningsrails EH/EJ van noodstroomnet 1.

6.4.1.2.3.3 Waterniveauregeling van de volumeregeltank

Tijdens normaal bedrijf wordt hoofdkoelmiddel aan het reactorkoelsysteem onttrokken en gezuiverd en vervolgens naar de volumeregeltank geleid. Van hieruit wordt het door middel van de volumeregelpompen weer teruggevoerd naar het reactorkoelsysteem. Het waterniveau in de volumeregeltank is dan constant.

Als er lekkages in het reactorkoelsysteem moeten worden gecompenseerd of als door de positieregeling van de regelementen de boorzur- en deminwatertoevoer geactiveerd is, treedt er een verandering op in het waterniveau van de volumeregeltank.

Bij het bereiken van de grenswaarde voor het minimum-waterniveau in de volumeregeltank wordt door de waterniveauregeling suppletiewater (deminwater) en de juiste hoeveelheid boorzur toegevoegd.

Bij het bereiken van de grenswaarde voor het maximum-waterniveau in het regeltank, wordt het overtollige water door de waterniveauregeling naar het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD) gevoerd.

De waterniveauregeling maakt gebruik van bepaalde marges om een te frequent aanspreken te voorkomen.

De niveauregeling van de volumeregeltank is **enkelvoudig tweevoudig** uitgevoerd.

6.4.1.2.3.4 Waterniveauregeling van de stoomgenerator

Elk van beide stoomgeneratoren heeft zijn eigen autonome waterniveauregeling. Deze zorgt ervoor dat tijdens normaal bedrijf, de stoomgeneratorpijpen altijd onder water staan.

Regelparameter is het gemeten niveau in de betreffende stoomgenerator. Dit niveau is afhankelijk van het voedingswater- en hoofdstoomdebiet. Het waterniveau in de stoomgenerator wordt geregeld met de hoofdregelkleppen van de voedingswatertoevoer.

Om veiligheidstechnische redenen beschikt elke stoomgenerator bovendien over een noodvoeding met een bijbehorende regelinrichting. Deze regelinrichting waarborgt een betrouwbare waterniveauregeling bij een voedingswaterdebiet van minder dan 10 % van de voeding bij vollast (zoals bij het afvoeren van de restwarmte na een reactorafschakeling).

Het in de betreffende stoomgenerator gemeten niveau is de regelparameter van de noodvoedingsregelinrichting. De noodvoedingswatertoevoer wordt geregeld met behulp van de aan de bovengenoemde hoofdregelkleppen parallel geschakelde noodvoedingswaterkleppen. Deze regeling is tweevoudig uitgevoerd.

6.4.1.2.3.5 Waterniveauregeling van de hoofdkoelmiddelleidingen tijdens midloop bedrijf

Tijdens midloop bedrijf wordt het niveau in het primair systeem bewust verlaagd. Om zeker te stellen dat in deze situatie voldoende inventaris voor de koeling van de reactorkern beschikbaar is, is voorzien in een automatische regeling van het waterniveau in de hoofdkoelmiddelleidingen. De regeling zorgt er bovendien voor dat de aanzuigpunten van het nakoelsysteem met voldoende water bedekt zijn, waardoor cavitatie van de nakoelpompen en daarmee uitval van het nakoelsysteem wordt voorkomen.

De regeling maakt gebruik van de niveaumetingen in het hete been van beide hoofdkoelmiddelkringlopen en corrigeert eventuele afwijkingen door het regelen van de af- en/of toevoer naar/van het volumeregelsysteem. De regeling is tweevoudig uitgevoerd.

6.4.1.2.4 Reactorvermogensbegrenzing bij ~~het uitvallen van / verstoringen in de~~ hoofdvoedingswatervoorziening

De reactorvermogensbegrenzing heeft als functie een onbalans tussen het hoofdvoedingswatersdebiet en het reactorvermogen, met als gevolg een daling van het niveau in de stoomgeneratoren, te voorkomen. Hierbij worden drie situaties onderscheiden:

1. Kleine verstoringen in het voedingswaterdebiet, welke bijvoorbeeld tijdens het opstarten van de reactor kunnen optreden wanneer de inbedrijfname van de eerste of tweede hoofdvoedingswaterpomp niet slaagt;
2. Uitval van één hoofdvoedingswaterpomp, waarbij de reserve hoofdvoedingswaterpomp niet start;
3. Uitval ~~het uitvallen~~ van de totale hoofdvoedingswatervoorziening.

In deze situaties wordt door passende maatregelen het reactorvermogen begrensd. De maatregelen betreffen het begrenzen van het toegelaten vermogen al dan niet in combinatie met het inbrengen van (alle) regelementen en het afschakelen van de turbine ~~de centrale nog vóór het bereiken van de relevante afschakelcriteria van het reactorbeveiligingssysteem ("te laag niveau in de stoomgenerator") af te schakelen.~~

Hiermee ~~Met deze vroegtijdige afschakeling~~ wordt bereikt dat het niveau in de stoomgeneratoren niet te ver kan dalen, waardoor de stoomproductietijd van de stoomgeneratoren wordt verlengd. De aanspreekcriteria van deze begrenzing worden gevormd door het voedingswaterdebiet vóór de stoomgeneratoren en het ~~verschil tussen de reactor in- en uittredetemperatuur van het~~ hoofdkoelmiddel ~~genormaliseerde~~ voedingswaterdebiet op basis van het reactorvermogen.

~~Wanneer binnen een bepaalde wachttijd na het constateren van deze storing de hoofdvoedingswatervoorziening niet weer op gang komt, worden alle regelementen ingebracht en wordt tegelijkertijd de afschakeling van de turbine geactiveerd.~~

Het systeem is ~~2v4 redundant~~ viervoudig uitgevoerd.

De voeding van de reactorvermogensbegrenzing vindt plaats vanaf de 24 V gelijkspanningsrails EH/EJ van noodstroomnet 1.

6.4.1.2.5 Reactorvermogensreductie tijdens bedrijfstransiënten bij een uitval van het systeem voor reactorsnelafschakeling (ATWS)

Bij bedrijfstransiënten waarbij de reactor niet snel afschakelt terwijl dit wel gewenst is, past het reactorvermogen zich aan de mogelijke warmte-afvoer aan onder invloed van de stijgende hoofdkoelmiddeltemperatuur in de kern.

Om een onderkritische toestand van de reactor te realiseren, is de toevoer van borium in het reactorkoelsysteem noodzakelijk. Hiertoe wordt een extra signaal voor het snel afschakelen van de reactor gevormd, wanneer tijdens vermogensbedrijf een snelle afschakeling van de reactor moet plaatsvinden en als na een wachttijd (groter dan de valtijd van de staven) niet ~~25 tenminste circa 50%~~ van de ~~28 regelementen zijn staven~~ ingeworpen is.

Door dit signaal worden automatisch het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) bijgeschakeld, waardoor koelmiddel met een hoge boriumconcentratie toegevoerd wordt aan het reactorkoelsysteem.

~~Het activeringssignaal is als een tweemaal 2 uit 3 systeem opgezet en beide redundanties bevinden zich in aparte ruimtes in het schakelgebouw (05).~~

Het systeem is viervoudig uitgevoerd.

6.4.1.2.6 Overige regelingen

Aftapregelinstallaties

Om een goede afvoer van de in de verschillende reservoirs (voorwarmers, tussenoververhitters, waterafscheiders etc.) gevormde condens te waarborgen, worden er automatische aftapregelinstallaties toegepast.

Drukreduceerregelinstallaties

Voor het bedrijf van een aantal hulpinstallaties wordt voor de drukregeling gebruik gemaakt van stoom- en waterdrukreduceertoestellen. Het gaat hierbij om regelinstallaties voor de stoomgeneratorspui en voor de suppletiewatertoevoer en stoomdrukreduceertoestellen voor het verwarmingsstoomreservoir.

Ontgasserdrukregeling

De ontgassing van het voedingswater gebeurt bij een glijdende druk. Bij deellast is een daling van de voorwarm-eindtemperatuur toegestaan. Om een afdoende ontgassing van het voedingswater ook bij geringe vermogens te waarborgen, is er een hulpstoomaftapleiding vanaf de hoofdstoomverzamelleiding aanwezig. Een reduceerklep zorgt ervoor dat de ontgasserdruk overeenkomt met de verzadigingstemperatuur van het voedingswater.

6.4.1.2.7 Redundantie van de schakelingen

Om een onnodige snelle afschakeling van de reactor te voorkomen, zijn bij regelsystemen waarvan het uitvallen op korte termijn een snelle afschakeling van de reactor tot gevolg zou hebben, de volgende voorzorgsmaatregelen ten aanzien van de ruimtelijke opstelling, schakeling en voeding genomen:

- uitvoeren van meervoudige metingen (redundante metingen) waarbij de uitkomsten onderling vergeleken worden. Hierbij kan de meetwaarde van een defect kanaal uitgezonderd worden zodat de bepaling van het gemiddelde of de keuze van de maximale waarde plaatsvindt op basis van correcte meetwaarden;
- bij regelsystemen waarbij snel reageren van de regeling niet noodzakelijk is wordt een kanaal met een te grote afwijking buiten gebruik gesteld. Dit wordt kenbaar gemaakt door een beveiligd alarm en de regeling wordt overgeschakeld op handbedrijf;
- mogelijkheid om over te schakelen op reserve regelingen of regelsystemen die standby staan;
- aan de boven- en onderzijde van het bereik van de normale continue regeling, staat een in/uit-regeling standby;
- digitalisering van enkelvoudige regelingen, ~~of~~ van regelingen die van veel bijkomende voorwaarden afhankelijk zijn **en de reactorregelingen en -begrenzings;**
- **reactorregelingen zijn in het algemeen tweevoudig opgebouwd; reactorbegrenzings viervoudig;**
- ruimtelijke scheiding en gescheiden stroomvoorziening van handmatige en geautomatiseerde functies;
- back-up stroomvoorziening door middel van accu's;
- functievergrendelingen en automatische startvoorzieningen.

6.4.1.3 Storingsmeldingssysteem

Het storingsmeldingssysteem omvat alle inrichtingen voor het verwerken en weergeven van storingssignalen uit de centrale.

De taak van het storingsmeldingssysteem bestaat uit het in de regelzaal, in de reserve-regelzaal en op lokale bedieningspanelen optisch en akoestisch signaleren van storingen.

De signalering en registratie van de optredende bedrijfs- en veiligheidstechnische meldingen vindt met behulp van de volgende voorzieningen plaats:

- conventioneel meldingssysteem
Door dit systeem worden alarmen afgegeven, die het bedieningspersoneel oproepen om de volgende maatregelen door te voeren:
 - o handmatige maatregelen in geval van functionele storingen
 - o maatregelen om storingen in de apparatuur te verhelpen
- procescomputerinstallatie
De procescomputer registreert belangrijke meldingen uit de bedrijfs- en veiligheidssystemen
- reactorbeveiligingspaneel
Dit paneel geeft het wachtpersoneel bij storingen en ongevallen op ieder moment een overzicht van de toestand van het reactorbeveiligingssysteem en de actieve veiligheidsvoorzieningen.

6.4.1.4 Veiligheidsbeschouwing

Een gedeelte van de meet- en regelsystemen (veiligheidsrelevant) is nodig voor de beheersing van ontwerpongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De meet- en regelsystemen nodig voor de beheersing van deze ongevallen voldoen aan dit criterium.

Overige meet- en regelsystemen voldoen vaak ook aan dit criterium, maar dan om de bedrijfszekerheid te verhogen.

De veiligheidsrelevante meet- en regelsystemen die ook gedurende een ontwerpongeval functioneel moeten zijn, zijn bestand tegen de omgevingscondities die kunnen optreden tijdens die ontwerpongevallen. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van deze systemen tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

De meet- en regelsystemen, nodig om de centrale veilig uit bedrijf te kunnen nemen en te houden in geval van invloeden van buitenaf, zijn gehuisvest in gebouwen die hiertegen bestand zijn. Deze systemen zelf zijn bestand tegen aardbeving. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van dit deel van de meet- en regelsystemen tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat met de veiligheidsrelevante meet- en regelsystemen de veronderstelde ontwerp-ongevallen (voor zowel korte als lange termijn) beheerst kunnen worden.

6.4.2 **Reactorbeveiligingssysteem (YZ)**

6.4.2.1 **Taak**

Het reactorbeveiligingssysteem heeft tot taak, de voor de veiligheid van de reactorinstallatie en de omgeving relevante procesvariabelen voor het constateren van storingen te bewaken en te verwerken. Beschermende acties om de toestand van de reactorinstallatie binnen veilige grenzen te houden worden automatisch gestart. De keuze van de bewaakte procesvariabelen, het formuleren van geschikte activeringscriteria en de bundeling tot signalen voor het starten van beschermende acties, zijn gebaseerd op de ongevalsanalyses (hoofdstuk 7).

6.4.2.2 **Samenstelling van het systeem**

Figuur 6.4.2.2/1 geeft een overzicht van de opbouw van het reactorbeveiligingssysteem. Het actieve gedeelte van het reactorbeveiligingssysteem bestaat uit:

- de opnemers en meetwaarde-omvormers;
- het analoge gedeelte van de reactorbeveiliging;
- het digitale gedeelte van de reactorbeveiliging;
- de prioriteitsstelling.

Ter bescherming tegen invloeden van buitenaf is het reactorbeveiligingssysteem grotendeels ondergebracht in het reservesuppletiegebouw (33) en een klein deel in het reserveregelzaalgebouw (35). In het schakelgebouw (05) dat niet tegen deze invloeden van buitenaf is beveiligd, is slechts dat gedeelte van het reactorbeveiligingssysteem ondergebracht, dat de snelle afschakeling van de reactor activeert.

De lokale meetwaarde-omvormers zetten de procesvariabelen, die door opnemers in de centrale worden gemeten, om in analoge stroomsignalen en geven deze door aan het analoge gedeelte van de reactorbeveiliging.

In het schakelgebouw (5) is het analoge gedeelte van de reactorbeveiliging (AT 1-4), verdeeld over een aantal separate kasten, in een gemeenschappelijke ruimte opgesteld.

In het reservesuppletiegebouw (33) is het analoge gedeelte van de reactorbeveiliging (AT I-III) drievoudig redundant uitgevoerd en in gescheiden ruimten geplaatst.

In het schakelgebouw (5) is het digitale gedeelte van de reactorbeveiliging (LT0) in kasten ondergebracht, die zich in één ruimte bevinden. Dit digitale gedeelte is op activering gericht - dat wil zeggen veilig falend - opgebouwd. In geval van falen van het systeem wordt de reactor afgeschakeld.

In het reservesuppletiegebouw (33) is het digitale gedeelte van de reactorbeveiliging (LT I-II) tweevoudig redundant uitgevoerd en in gescheiden ruimten geplaatst.

De reactorsnelafschakeling (RESA) wordt geactiveerd door het digitale gedeelte LT0 in het schakelgebouw, respectievelijk door de digitale gedeeltes LT I-II in het reservesuppletiegebouw. De aansturing van actieve componenten van veiligheidsvoorzieningen wordt geactiveerd door de digitale gedeeltes LT I-II in het gebouw 33.

De reactorbeveiligingscommando's hebben te allen tijde prioriteit boven bedrijfscommando's. De prioriteitsstelling is tweevoudig redundant uitgevoerd en in gescheiden ruimten in het reserveregelzaalgebouw geplaatst.

Al naar gelang de aan te sturen componenten slechts maatregelen ter beheersing van storingen door invloeden van binnenuit dienen uit te voeren, en/of ter beheersing van storingen door invloeden

van buitenaf nodig zijn, bevindt zich de bijbehorende prioriteitsstelling in verschillende zones van het reserveregelzaalgebouw.

Stroomvoorziening

Alle meet- en regelkasten in respectievelijk het schakelgebouw, het reservesuppletiegebouw en het reserveregelzaalgebouw worden groepsgewijs diode-ontkoppeld door twee van de vier onafhankelijke 24 V gelijkspanningsrails gevoed. Deze voeding is beschermd tegen invloeden van buitenaf.

6.4.2.2.1 **Analoge verwerking**

Het activeringsniveau van het reactorbeveiligingssysteem omvat de analoge meetwaarde-acquisitie, vanaf de opnemers tot en met de grenswaardebouwstenen.

Door opnemers en lokale meetwaarde-omvormers in de centrale worden alle voor het reactorbeveiligingssysteem relevante procesvariabelen drievoudig gemeten en in genormaliseerde stroomsignalen omgezet.

Een uitzondering hierop vormt de procesvariabele "neutronenfluxdichtheid", die in het impuls bereik tweemaal en in het vermogensbereik viermaal wordt vastgesteld.

De stroomsignalen worden voor verdere verwerking geleid naar de elektroniekkasten van het analoge gedeelte AT 1-4 (onbeschermd zone) respectievelijk het analoge gedeelte AT I-III (beschermd zone).

Hier vindt via stroom/spanningsomvormers (I/U) de omzetting van de genormaliseerde stroomsignalen in genormaliseerde spanningssignalen plaats.

De spanningssignalen worden direct of deels na voorafgaande verwerking in analoge computerschakelingen, doorgeschakeld naar de toegewezen grenssignaalopnemers in het digitale gedeelte LT0 (onbeschermd zone) respectievelijk LT I-II (beschermd zone).

Door meetwaardevergelijkers in de digitale gedeelten is een continue bewaking van de meetkanalen gewaarborgd. Fouten op opnemerniveau worden automatisch gemeld.

Ten behoeve van de meetwaardeverwerking van analoge signalen van het reactorbeveiligingssysteem buiten de reactorbeveiligingskasten, bijvoorbeeld voor registratie, worden bovendien de hiervoor noodzakelijke analoge signalen - via scheidingsversterkers - beschikbaar gesteld.

6.4.2.2.2 **Digitale verwerking**

De verwerking van de op het analoge niveau tot stand gekomen spanningssignalen vindt plaats op het digitale niveau.

Digitaal gedeelte LT0 (onbeschermd zone)

In geval van reactiviteitsstoringen, het uitvallen van de hoofdkoelmiddelpompen of het overschrijden van andere grenswaarden zoals de koelmiddeldruk- of temperatuur worden in het digitale gedeelte LT0 de signalen gevormd en vergeleken met criteria voor het activeren van een reactorsnelafschakeling (RESA). Tevens worden de redundante grenssignalen met elkaar vergeleken. Deze vergelijking vindt in drie redundante schakelketens plaats.

Aan het einde van iedere schakelketen geeft een afsluitelement (RAG) bij activering een continu signaal.

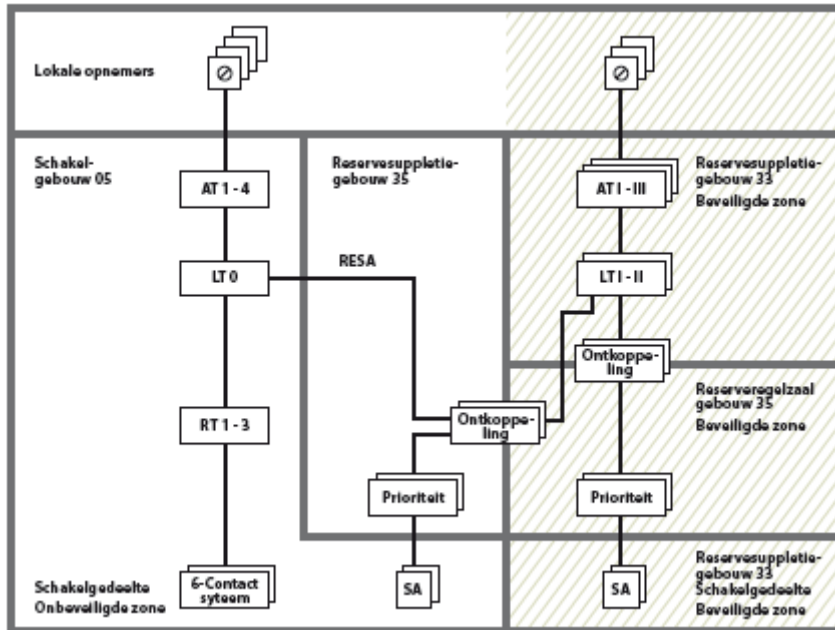
In het relaisdeel RT 1-3 worden deze signalen opgeslagen en doorgegeven aan de beide 6-contactsystemen (volgens het ruststroomprincipe). Met dit systeem wordt bereikt dat met 2 van de 3 positieve signalen RESA geactiveerd wordt.

Digitale gedeelten LT I-II (beschermd zone)

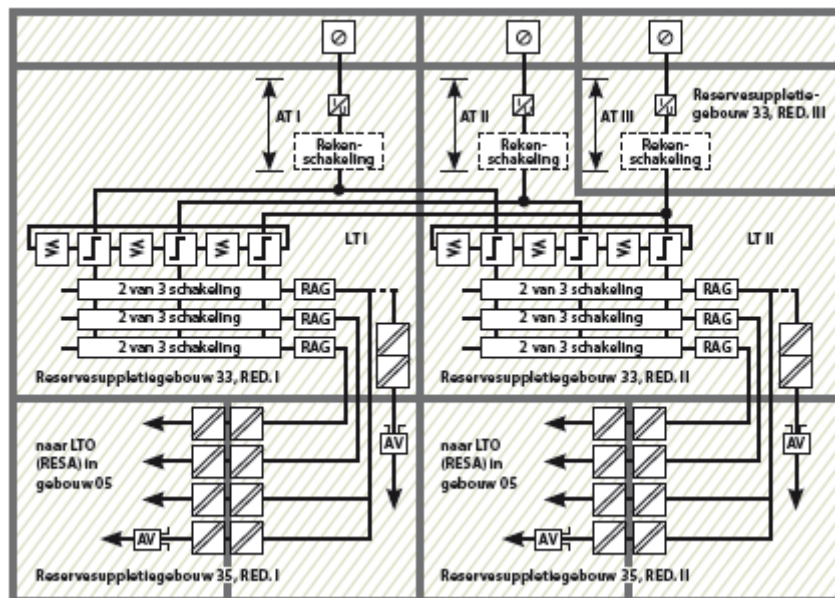
Ten behoeve van de activering van zowel RESA als TUSA (via LT0) en de besturing van componenten van systemen die uit veiligheidstechnisch oogpunt van belang zijn, worden in de digitale gedeelten LT I-II activeringssignalen gevormd.

Na het vormen van de grenssignalen en de vergelijking met de activeringscriteria worden de redundante grenssignalen met elkaar vergeleken. De signalen en het proces van vergelijking is redundant uitgevoerd. Ieder van deze redundanties kan een activeringssignaal geven voor acties ter beveiliging van de reactor.

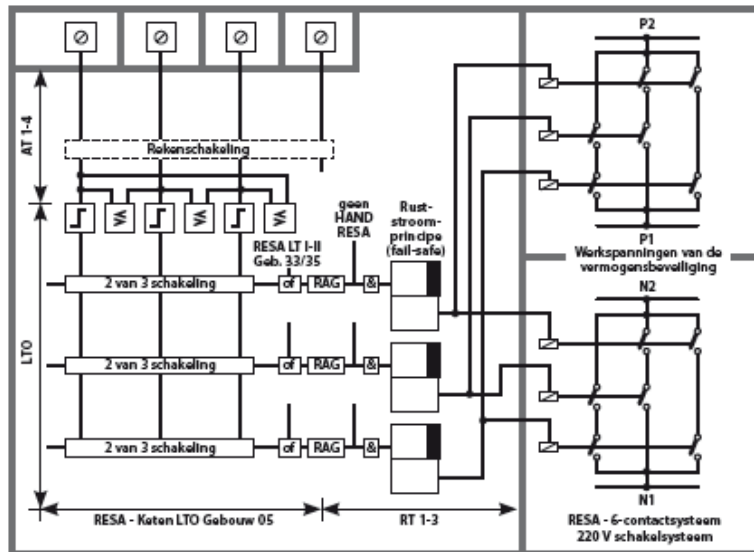
Voor het aansturen van de voorrangsbouwenstenen geven de afsluitelementen (RAG) aan het einde van de schakelketens bij activering een continu activeringssignaal.



AT Analog gedeelte
 LT Digitaal gedeelte
 RT Relais gedeelte
 SA Schakelgedeelte



AT Analog gedeelte
 LT Digitaal gedeelte
 RAG Afsluit gedeelte
 AV Prioriteitsstelling



AT	Analoog gedeelte
LT	Digitaal gedeelte
RA	Afsluit gedeelte
RT	Relais gedeelte

Figuur 6.4.2.2/1 Overzicht opbouw reactorbeveiligingssysteem

6.4.2.2.3 Activeringsschakeling

De activeringssignalen van het reactorbeveiligingssysteem zijn nodig voor:

- het activeren van RESA;
- de besturing van actieve componenten in veiligheidssystemen.

Voor het in werking stellen van de RESA worden activeringsschakelingen gebaseerd op het ruststroomprincipe (fail-safe) gebruikt. Voor het activeren van componenten in de veiligheidssystemen (bijvoorbeeld de inundatie naar het reactorkoelsysteem of de noodvoeding in de stoomgeneratoren) worden schakelingen volgens het arbeidsstroomprincipe toegepast. Door middel van periodieke handmatige controles worden eventuele fouten hierin opgespoord.

Het systeem is zelfmeldend ten aanzien van diverse stringen zoals spanningsuitval. Er wordt mede een hoge beschikbaarheid verkregen door toepassing van redundantie in de signaalverwerking, de sturing en de voeding.

Activeringsschakelingen volgens het ruststroomprincipe

In de relaisdelen RT1-3 bevindt zich de opbouw van de redundante RESA-signalen, die ieder twee 6-contactensystemen in de 220 V-gelijkspanningsinstallatie aansturen in het schakelgebouw. De RESA-relais werken volgens het ruststroomprincipe. In de normale bedrijfstoestand zijn de relais 1 t/m 3 bekrachtigd. Treedt er een RESA-signaal op, dan valt de spanning op het relais af en vallen de regelstaven in de reactorkern.

Activeringsschakelingen volgens het arbeidsstroomprincipe

Voor de beveiliging van de reactor worden redundante actieve componenten zoals pompen en afsluiters gebruikt.

De aansturing van deze componenten vindt plaats door de redundante activeringssignalen uit de digitale gedeelten van het reactorbeveiligingssysteem. De ontkoppelde activeringssignalen worden voor iedere component op de prioriteitsstelling (AV) zodanig aan de bij de bedrijfsvoering horende besturingscommando's gekoppeld, dat de reactorbeveiligingssignalen altijd voorrang hebben.

De prioriteitsstelling voor de componenten ter bescherming tegen invloeden van binnenuit is ondergebracht in brandveilige ruimten van het reserveregelzaalgebouw; de prioriteitsstelling voor de componenten ter bescherming tegen invloeden van buitenaf is ook in dit gebouw ondergebracht dat tot de beschermde zone behoort.

6.4.2.3 Activeringssignalen

6.4.2.3.1 Afschakeling van de reactor en de turbine

Reactorsnelafschakeling (RESA)

Het systeem voor een reactorsnelafschakeling (RESA) heeft tot taak, de reactor in geval van storingen en ongevallen die gevaar voor de centrale of de omgeving zouden kunnen opleveren, door inworp van alle regelementen voldoende snel onderkritisch te maken. Het systeem treedt in werking, wanneer op grond van één of meerdere activeringscriteria een RESA wordt verlangd. Onderstaand zijn de activeringscriteria voor de RESA gespecificeerd:

- neutronenfluxdichtheid in het impulsbereik
Wanneer de neutronenfluxdichtheid in het impulsbereik het meetbereik overschrijdt, en er tegelijkertijd geen minimale flux in het middenbereik gemeten wordt en de elektronische overbrugging van het onderste vermogensbereik niet ingeschakeld is, vindt RESA plaats. Tijdens een normale inbedrijfname wordt het impulsbereik automatisch door het middenbereik overbrugd;
- neutronenfluxdichtheid in het middenbereik
Wanneer de neutronenfluxdichtheid in het middenbereik het meetbereik overschrijdt en de elektronische "overbrugging van het onderste vermogensbereik" niet ingeschakeld is, wordt RESA geactiveerd;
- reciproke periode middenbereik
Een RESA vindt plaats wanneer er sprake is van een te snelle neutronenfluxdichtheidstoename (periode).
- Dit beveiligingskanaal kan handmatig door middel van een elektronische schakeling worden overbrugd. De vrijgave hiertoe vindt plaats wanneer aan de voorwaarden voor primaire druk, hoofdkoelmiddeltemperatuur en neutronenfluxdichtheid is voldaan;
- neutronenfluxdichtheid in het vermogensbereik
RESA vindt plaats, wanneer de neutronenfluxdichtheid $> \max 1^{(2)}$ is en er nog geen vrijgave voor het vermogensbedrijf heeft plaatsgevonden.
De vrijgave voor het vermogensbedrijf gebeurt handmatig vanaf het bedieningspaneel in de regelzaal, indien er is voldaan aan de voorwaarden voor primaire druk, hoofdkoelmiddeltemperatuur en neutronenflux. Hierdoor wordt verzekerd, dat pas bij een gedefinieerde systeemtoestand van het reactorkoelsysteem op vermogensbedrijf kan worden overgegaan.
- glijdende grenswaarde van het reactorvermogen (deellastbedrijf)

² Van de grootheden die in de verschillende criteria genoemd worden, zijn niet de grenswaarden gegeven maar slechts een aanduiding of het een bovengrens betreft (max) of een ondergrens (min). De grenswaarde is voorzien van een cijfer (in dit geval "max 1") indien bij een bepaalde grootheid meerdere grenswaarden mogelijk zijn. Hierbij ligt max. 2 respectievelijk min. 2 verder buiten de normale condities dan max. 1 respectievelijk min. 1. De grenswaarden liggen vast in de bij de centrale behorende Technische Specificaties.

Een RESA wordt door het overschrijden van een glijdende grenswaarde van het reactorvermogen geactiveerd. Deze glijdende grenswaarde dient te voorkomen, dat bij reactiviteitsstoringen met te snelle vermogensveranderingen in het deellastgebied, niet eerst het totale vermogensbereik wordt afgelegd voordat de RESA wordt geactiveerd. Bij verandering van het vermogen wordt de grenswaarde mee veranderd;

- gecorrigeerde neutronenfluxdichtheid
Bij een gecorrigeerde neutronenfluxdichtheid $> \max 3$ (wanneer beide hoofdkoelmiddelpompen in bedrijf zijn), wordt een RESA geactiveerd om te voorkomen dat de splijstoftemperatuur te hoog wordt;
- toerental van de hoofdkoelmiddelpompen
Wanneer van één hoofdkoelmiddelpomp het toerental $< \min 1$ is, worden regelementen ingeworpen om het vermogen te reduceren (zie paragraaf 6.4.1.2.2.2).
Wanneer het toerental van één hoofdkoelmiddelpomp sterk afneemt (toerental $< \min 2$) en het reactorvermogen nog $> \max 2$ is, vindt RESA plaats. Als beide hoofdkoelmiddelpompen uitvallen vindt er, ongeacht het reactorvermogen, vanaf een toerentalgrenswaarde $< \min 1$ RESA plaats;
- te geringe kookpuntsmarge
Om de splijstofelementen tegen filmkoken te beschermen, wordt een RESA geactiveerd wanneer de marge ten opzichte van het kookpunt $< \min$;
- druk in het reactorkoelsysteem
Indien de druk in het reactorkoelsysteem oploopt tot een waarde $> \max 1$, vindt RESA plaats. Daalt de druk tijdens vermogensbedrijf tot een waarde $< \min 1$, dan vindt eveneens RESA plaats;
- niveau in de drukhouder
Wanneer het niveau in de drukhouder stijgt, vindt bij het bereiken van de waarde $> \max 2$ RESA plaats.
Wanneer het niveau in de drukhouder daalt, wordt bij het bereiken van een waarde $< \min$ eveneens RESA plaats;
- druk in de veiligheidsomhulling
Als tijdens een ongeval waarbij lekkage optreedt, de druk in de installatie -/bedrijfsruimte oploopt tot een waarde $> \max 2$, vindt RESA plaats;
- niveau in de stoomgenerator
Bij het bereiken van een waarde $< \min 1$, bijvoorbeeld tengevolge van een lek in het hoofdstoomsysteem, vindt RESA plaats;
- druk in de hoofdstoomleiding
Wanneer de druk in een van de beide hoofdstoomleidingen toeneemt (bijvoorbeeld door een gestoorde warmteafvoer aan secundaire zijde), vindt RESA plaats als de hoofdstoomdruk $> \max$ wordt;
- hoofdstoomdrukgradiënt
Wanneer de hoofdstoomdruk snel daalt, bijvoorbeeld als gevolg van een lek in de hoofdstoomleiding, vindt RESA plaats op grond van het criterium drukdaling $> \max$;
- niveau in de voedingswatertank
Om een voldoende voorraad aan voedingswater te garanderen, wordt een RESA geactiveerd bij het bereiken van het niveau $< \min 1$;

- radioactieve contaminatie van de hoofdstoom
Bij een lek in een pijp van een stoomgenerator vindt op grond van het criterium "radioactieve contaminatie van de hoofdstoom in een stoomgenerator > max" RESA plaats en wordt een snelle turbineafschakeling (TUSA) vertraagd geactiveerd;
- handmatige RESA
RESA kan handmatig geactiveerd worden met behulp van een drukknop in de regelzaal of in de reserve-regelzaal. Door middel van een kap wordt de knop beschermd tegen onbedoelde bediening.

Turbinesnelafschakeling (TUSA)

Als de regelelementrail spanningsloos wordt, vindt turbinesnelafschakeling (TUSA) plaats.

Voorwaarde voor direct afschakelen:

- spanning regelelementrail < min.

Daarmee treedt TUSA op grond van dezelfde criteria op als voor RESA gelden.

6.4.2.3.2 Activeren van veiligheidssystemen

Naast het activeren van RESA, zorgen componenten van verscheidene veiligheidssystemen voor verdere acties ter beveiliging van de reactor. Het gaat hierbij hoofdzakelijk om pompen en appendages die door activeringssignalen van het reactorbeveiligingssysteem worden aangestuurd. Deze veiligheidssystemen zijn geheel of gedeeltelijk redundant (tenminste tweevoudig) uitgevoerd. Voor zover hiervan sprake is, is ook bij de prioriteitsstelling een overeenkomstige scheiding van de redundanties aangehouden. Redundante aandrijvingen of verstelmechanismen worden daarom door van elkaar onafhankelijke activeringssignalen uit het digitale gedeelte van het reactorbeveiligingssysteem aangestuurd.

Onderstaand worden de essentiële activeringscriteria voor deze beveiligingsacties gespecificeerd.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van de noodkoelcriteria die als volgt zijn gedefinieerd:

Noodkoelcriteria: A en ((B en C) of D)

- | | |
|---|---------|
| - A druk in het reactorkoelsysteem | < min 3 |
| - B niveau in de drukhouder | < min |
| - C temperatuur in een van de loops van het primair systeem | > max |
| - D druk in de installatie-/bedrijfsruimte | > max 2 |

Kerninundatie en afsluiting van de reactorveiligheidsomhulling

- Kerninundatievoorbereiding: A en ((B en C) of D)
 - A druk in het reactorkoelsysteem < min 2
 - B niveau in de drukhouder < min
 - C temperatuur in een van de loops van het primair systeem > max
 - D druk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 2

- HD-kerninundatie: A en B
 - A noodkoelcriteria
 - B niveau in het reactorvat < min 3

- LD-kerninundatie: A en B
 - A noodkoelcriteria
 - B druk in het reactorkoelsysteem < min 5

- Inundatiesignaal: A en B
 - A noodkoelcriteria
 - B niveau in de kerninundatievoorraadtank NIET < min

- Putbedrijfsignaal: A en B
 - A noodkoelcriteria
 - B niveau in de kerninundatievoorraadtank < min

- Gebouwafsluiting (algemeen en t.a.v. ventilatiesysteem) en ringruimteafzuiging: A of B
 - A noodkoelcriteria
 - B druk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 2

- Gebouwafsluiting (t.a.v. volumeregelsysteem): A
 - A noodkoelcriteria

- Gebouwafsluiting na afschakeling hoofdkoelmiddelpompen: A of B
 - A noodkoelcriteria
 - B niveau in één van de stoomgeneratoren < min 3

- Afschakelen van de kerninundatiepompen: A en (B of C)
 - A niveau in een stoomgenerator > max 2
 - B niveau in het reactorvat NIET < min 3
 - C druk in installatie-/bedrijfsruimte NIET > max 2

- Onderdrukbeveiliging van de veiligheidsomhulling (onderdruk verbreken): A
 - A onderdruk in de installatie-/bedrijfsruimte < min

- Onderdrukbeveiliging van de veiligheidsomhulling (onderdruk instandhouden): A
 - A onderdruk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 1

Reservesuppletie aan primaire zijde (TW)

- Primaire reservesuppletie en afsluiting reactorkoelsysteem: A of B
 - A noodkoelcriteria
 - B bij splijstofelementwisseling reactoruitlaattemperatuur in één loop > max

Drukbeveiliging aan primaire zijde (drukhoudsysteem)

- Veiligheidsklep van de drukhouder openen: A of (B en C)
 - A druk in het reactorkoelsysteem > max 2
 - B marge ten opzichte van brosse breuk < min
 - C GEEN noodkoelcriteria
- Veiligheidsklep van de drukhouder sluiten: A of B
 - A kookpuntsmarge < min
 - B drukdaling na automatisch opensturen veiligheidsklep > max

Sproeien in drukhouder bij stoomgeneratorpijplekkage

- Sproeien in drukhouder bij stoomgeneratorpijplekkage: A en B en C
 - A radioactieve besmetting van de hoofdstoom in een stoomgenerator > max
 - B GEEN "Signaal sproeien in drukhouder beëindigen"
 - C druk in de installatie/bedrijfsruimte > max 2
- Sproeien in de drukhouder beëindigen: (A en B) of (A en C) of D
 - A sproeien in drukhouder bij stoomgeneratorpijplekkage < min 4
 - B druk in het reactorkoelsysteem
 - C niveau in de drukhouder > max 1
 - D noodkoelcriteria

Noodvoedingswatertoevoer (RL) en isolatie van de stoomgeneratoren

- Sluiten hoofdvoedingswatertoevoer: A of B of C of D
 - A niveau in een stoomgenerator > max 1
 - B niveau in een stoomgenerator < min 1
 - C drukdaling in een hoofdstoomleiding > max
 - D druk in het reactorkoelsysteem binnen 200 seconden na het intreden van de noodkoelcriteria (criterium: "groot lek") < min 5
- Afschakelen van de hoofdvoedingswaterpompen A of B of C
 - A niveau in een stoomgenerator < min 1
 - B drukdaling in een hoofdstoomleiding > max
 - C druk in het reactorkoelsysteem binnen 200 seconden na het intreden van de noodkoelcriteria (criterium: "groot lek") < min 5
- Toevoeren van deminwater: A
 - A niveau in de voedingswatertank < min 1
- Openen noodvoedingswatertoevoer voor één stoomgenerator: A en (B of C)
 - A niveau in de stoomgenerator < min 1
 - B drukverschil tussen de voedingswaterleidingen > max
 - C niveau in de stoomgenerator > max 1
- Bijschakelen van noodvoedingswaterpompen: A
 - A niveau in een stoomgenerator < min 1

- Sluiten van de noodvoedingswatertoevoer voor één stoomgenerator: A en (B of C)
 - A niveau in de stoomgenerator < min 1
 - B drukverschil tussen de voedingswaterleidingen > max
 - C niveau in de stoomgenerator > max 1

Reservesuppletie aan secundaire zijde (RS)

- Toevoeren van reservesuppletie: A
 - A niveau in een stoomgenerator < min 2
- Stoppen van reservesuppletie: A
 - A niveau in een stoomgenerator > max 1

Afblazen van hoofdstoom

- afblaasregeling: A
 - A hoofdstoomdruk > max
- 100 K/h uit bedrijf nemen: (A en B) of C
 - A druk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 2
 - B druk in het reactorkoelsysteem < min 2
 - C drukknopbediening 100 K/h afregelen
- Sluiten hoofdstoomtoevoer en breukbeveiligingskleppen: A of (B en C)
 - A drukdaling in één van de hoofdstoomleidingen > max
 - B noodkoelcriterium staat gedurende ≤ 200 s aan
 - C druk in het reactorkoelsysteem < min 2

Noodstroomvoorziening

- Startsignaal aan dieselgeneratoren en afschakelen verbruikers noodstroomnet 1: A of B
 - A spanning aan de rail van noodstroomnet 1 < min
 - B frequentie aan de rail van noodstroomnet 1 < min
- Bijschakelen beveiligde nood- en nevenkoelpompen: A of B of C
 - A frequentie aan de rail van noodstroomnet 1 < min
 - B spanning aan de rail van noodstroomnet 1 < min
 - C noodkoelcriteria
- Bijschakelen van dieselgeneratoren noodstroomnet 2: A of B
 - A spanning aan de rail van noodstroomnet 2 < min
 - B frequentie aan de rail van noodstroomnet 2 < min.

6.4.2.4 Reactorbeveiligingspaneel

De centrale plaats voor meldingen of controles van het reactorbeveiligingssysteem (zowel voor het niet tegen invloeden van buitenaf beveiligde alsook voor het wél daartegen beveiligde gedeelte) is het reactorbeveiligingspaneel.

Dit paneel bevindt zich in de regelzaal en geeft de toestand van het reactorbeveiligingssysteem tijdens normaal bedrijf en bij storingen en ongevallen weer. Ook worden vanaf het paneel periodieke beproevingen uitgevoerd.

Het paneel bevat voornamelijk analoge aanwijzingen voor de weergave van procesvariabelen, meldingen van activeringstoestanden van meetkanaalgroepen, activeringssignalen van het reactorbeveiligingssysteem en de bevestiging dat componenten geactiveerd zijn. Daarnaast zijn hier de bedieningselementen voor periodieke beproevingen aangebracht.

De bij invloeden van buitenaf relevante reactorbeveiligingssignalen met de bijbehorende terugmeldingen worden ook in de reserve-regelzaal in gebouw 35 aangegeven.

6.4.2.5 Beveiligingsacties bij ontwerpgevallen

Voor de onderstaande karakteristieke ontwerpgevallen wordt beschreven, hoe de veiligheidsmaatregelen die door het reactorbeveiligingssysteem geïnitieerd worden, ervoor zorgen dat de centrale in een veilige toestand wordt gebracht. In hoofdstuk 15 wordt het verloop van ongevallen gedetailleerd beschreven.

Karakteristieken van ontwerpgevallen zijn:

- reactiviteitsstoringen;
- uitval van hoofdkoelmiddelpompen;
- koelmiddelverliesongevallen;
- stoomgeneratorlekklages;
- ongevallen door lekkage in de stoom/waterkringloop;
- verlies van de koeling naar de Westerschelde (bijvoorbeeld in een noodstromingsituatie).

Voor de eerste twee categorieën van ongevallen zijn RESA samen met TUSA de enige maatregelen ter beveiliging van de reactor. Om de andere categorieën van ongevallen te kunnen beheersen dienen verdere en voor het ongeval specifieke veiligheidsmaatregelen te worden geïnitieerd.

Reactiviteitsstoringen en uitval van hoofdkoelmiddelpompen

Bij deze categorieën van ongevallen is als reactorbeveiligingsmaatregel - als er geen andere storing is - RESA en TUSA voorzien. Dit is in eerste instantie voldoende om de reactorkern te beschermen tegen te hoge temperaturen. Afhankelijk van de grenswaarden kunnen ook die delen van veiligheidssystemen geactiveerd worden die nodig zijn voor het beheersen van het ongeval.

Koelmiddelverliesongevallen

Het verloop van deze ongevallen is in hoofdzaak afhankelijk van de grootte van het lek. Kleine lekkages in het primair systeem worden automatisch met het volumeregelsysteem (TA) gecompenseerd, zonder dat veiligheidstechnische voorzieningen hoeven te worden geactiveerd. Bij middelgrote en grote lekken wordt echter het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) voor de beheersing van het ongeval geactiveerd.

Lekkages aan het primair systeem worden door de volgende criteria (noodkoelcriteria) gekarakteriseerd:

A en ((B en C) of D)

- | | |
|---|---------|
| - A druk in het reactorkoelsysteem | < min 3 |
| - B niveau in de drukhouder | < min |
| - C temperatuur in één van de loops primair systeem | > max |

- D druk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 2

Deze criteria activeren RESA en TUSA. Afhankelijk van de grenswaarden worden bovendien de gebouwfsluiting en de afsluiting van het primair systeem geactiveerd, alsook de delen van veiligheidssystemen die nodig zijn voor het beheersen van het ongeval.

In geval van lekkages wordt de centrale onmiddellijk automatisch uit bedrijf genomen. Bij kleine lekkages wordt de restwarmte afgevoerd via de secundaire zijde waarbij het primair systeem initieel afgekoeld wordt met een snelheid van 100 K/h.

Teneinde een voldoende kernbedekking te garanderen wordt het hoofdkoelmiddelniveau in het reactorvat bewaakt. Dit wordt bewerkstelligd door dit niveausignaal prioriteit te geven ten opzichte van alle andere signalen. Door het niveausignaal worden de kerninundatiepompen opnieuw geactiveerd, indien zij eerder uitgeschakeld waren.

Een parallelbedrijf van kerninundatiepompen (HD) en nakoelpompen (LD) is mogelijk. Bij grote lekkages voeden zij dan parallel aan elkaar vanuit de kerninundatievoorradetanks. Wanneer deze tanks leeg zijn worden de nakoelpompen omgeschakeld op aanzuiging uit de put van het reactorgebouw. De kerninundatiepompen worden door de reactorbeveiliging uit bedrijf genomen.

De putschakeling van de nakoelpompen blijft bij grote lekkages langdurig gehandhaafd. Bij kleine lekkages wordt handmatig één strang van het TJ-systeem op kringloopkoeling overgeschakeld.

Stoomgeneratorlekkages

Lekkages aan pijpen van een stoomgenerator worden door middel van het criterium "radioactieve contaminatie van de hoofdstoom in een stoomgenerator > max EN druk in de veiligheidsomhulling NIET > max 2" gedetecteerd. Nadat de grenswaarde is overschreden, wordt RESA met vertraagde TUSA geïnitieerd. Tegelijkertijd worden maatregelen genomen om de primaire druk te verlagen en het verlies aan hoofdkoelmiddel te compenseren. De druk in het primair systeem wordt verlaagd door sproeien in de drukhouder met het volumeregelsysteem (TA) en het primair reservesuppletiesysteem (TW) beperkt. De verwarming van de drukhouder wordt uitgeschakeld om de drukverlaging niet te belemmeren. De aanspreekwaarde van de turbine-omloop wordt automatisch naar beneden bijgesteld.

In een noodstroomsituatie kan de afvoer van de hoofdstoom via de turbine-omloop niet plaatsvinden, en wordt de hoofdstoomdruk door de hoofdstoom-afblaasregelkleppen automatisch beperkt. Spreken bovendien de noodkoelcriteria aan, dan worden de kerninundatiepompen bijgeschakeld. De hoofdkoelmiddelpompen worden door het reactorbeveiligingssysteem uit bedrijf genomen.

Wanneer de grenswaarde "stoomgeneratorniveau > max 2" wordt bereikt, schakelt het reactorbeveiligingssysteem de kerninundatiepompen uit. Het opnieuw inschakelen van de kerninundatiepompen wordt op grond van het criterium "reactorvatniveau < min 3" bewerkstelligd.

De defecte stoomgenerator dient te worden geïsoleerd. Na isolatie kan de hoofdkoelmiddelpomp in de intacte kringloop weer bijgeschakeld worden. Aansluitend wordt de centrale uit bedrijf genomen via de turbine-omloop en de intacte stoomgenerator, danwel in geval van een noodstroomsituatie via de hoofdstoom-afblaasregelkleppen van de intacte stoomgenerator.

Ongevallen door lekkage in de stoom/waterkringloop

Ongevallen door lekkage in de stoom/waterkringloop worden via het criterium "drukval in een hoofdstoomleiding > max" gesignaleerd. Door dit criterium worden RESA en TUSA geactiveerd. Tegelijkertijd worden de hoofdvoedingswaterpompen uitgeschakeld en de hoofdvoedingsafsluiters gesloten. Dit signaal activeert ook het sluiten van de hoofdstoomafsluiters, breukkleppen en stoomgeneratorspuiafsluiters.

Door middel van getrapte grenswaarden van het stoomgeneratorniveau wordt bereikt, dat na het uitvallen van de hoofdvoeding eerst de noodvoeding uit het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL) en, wanneer deze niet beschikbaar is, de reserve voeding vanuit het secundair reservesuppletiesysteem (RS) wordt gestart.

Om overvoeding van de stoomgeneratoren te voorkomen, wordt door het criterium "niveau in een stoomgenerator > max 1" het afsluiten van alle voedingswatersystemen voor de stoomgeneratoren geïnitieerd.

Verlies van de koeling naar de Westerschelde

Onafhankelijk van de oorzaak van het wegvallen van de koeling naar de Westerschelde, kan de warmteafvoer in deze situatie niet meer door afblazen van de hoofdstoom in de condensor plaatsvinden. Hierdoor loopt de hoofdstoomdruk op.

Wanneer het criterium "hoofdstoomdruk > max" wordt bereikt, vinden RESA en TUSA plaats. Aanvullend wordt een signaal afgegeven, waardoor het hoofdstoomafblaasstation wordt geactiveerd en de druk automatisch op het aanspreekpunt wordt gehouden.

Wanneer het uitvallen van de eigenbedrijfsvoorziening de oorzaak van het ongeval is, worden de noodstroomdieselaggregaten van het noodstroomnet 1 geactiveerd en de corresponderende verbruikers trapsgewijs bijgeschakeld. Dit gebeurt op grond van de criteria "spanning aan de rail van noodstroomnet 1 < min" of "frequentie aan de rail van noodstroomnet 1 < min".

6.4.2.6 **Veiligheidsbeschouwing**

Het reactorbeveiligingssysteem is nodig voor de beheersing van ontwerpongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. Het reactorbeveiligingssysteem voldoet aan dit criterium.

Het reactorbeveiligingssysteem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na begin van het ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

Het grootste gedeelte van het reactorbeveiligingssysteem is ondergebracht in het reservesuppletiegebouw (33) en in het reserveregelzaalgebouw (35), waarbij de redundancies ruimtelijk zijn gescheiden. Het overige gedeelte van het reactorbeveiligingssysteem is ondergebracht in het schakelgebouw (05). Hier is de ruimtelijke scheiding beperkt, waardoor fail-safe systemen zijn toegepast.

In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het reactorbeveiligingssysteem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

De gedeelten van het reactorbeveiligingssysteem die nodig zijn voor de beheersing van invloeden van buitenaf zijn gehuisvest in het reservesuppletiegebouw (33) en in het reserveregelzaalgebouw (35) die hiertegen bestand zijn. Dit gedeelte van het reactorbeveiligingssysteem is zelf ook bestand tegen aardbeving. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van dit deel van het reactorbeveiligingssysteem tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat met het reactorbeveiligingssysteem de veronderstelde ontwerp-ongevallen (voor zowel korte als lange termijn) beheerst kunnen worden.

6.4.3 Panelen

6.4.3.1 Regelzaal, reserve-regelzaal, lokale bedieningspanelen

6.4.3.1.1 Algemeen

De taken met betrekking tot de bedrijfsvoering, in het bijzonder die van de procesbesturing, worden vanuit de regelzaal uitgevoerd.

Van hieruit wordt het procesverloop bewaakt en gestuurd en wordt de communicatie met het personeel en met externe instanties gerealiseerd.

Wanneer de regelzaal niet ter beschikking staat, kan de centrale vanaf een reserve-regelzaal in een veilige toestand worden gebracht en gehouden.

Naast de regelzaal en de reserve-regelzaal zijn er lokale bedieningspanelen en besturingsposities aanwezig voor taken, die uit hoofde van de bedrijfsvoering of de veiligheid, ter plaatse of onafhankelijk van de regelzaal respectievelijk de reserve-regelzaal kunnen worden uitgevoerd.

In het navolgende worden van deze werkplekken de uitgangspunten van het ontwerp alsook de doelstellingen en de technische uitvoering beschreven.

6.4.3.1.2 Regelzaal

De regelzaal is uitgerust met de benodigde voorzieningen om met de centrale veilig bedrijf te voeren. Verder kan de centrale vanuit de regelzaal in een veilige toestand gebracht en gehouden worden in geval van storingen en ontwerpongevallen met uitzondering van ongevallen met invloeden van buitenaf. In het laatste geval neemt de reserve-regelzaal de functie van de regelzaal over.

De regelzaal en de bijbehorende nevenvertrekken zijn gesitueerd in het schakelgebouw (05) en kunnen slechts via een bewaakte ingang worden betreden.

In de regelzaal bevinden zich de bedienings- en informatievoorzieningen voor het in- en uitbedrijfnemen, regelen, controleren en bewaken van de centrale. Van hieruit vinden, voor zover noodzakelijk, de handmatige besturing, het invoeren van de instelwaarden en de bewaking van het primair systeem, de stoom/waterkringloop, de turbine/generator-set en de eigenbedrijfsinstallaties plaats.

De inrichting van de regelzaal wordt bepaald door de functionele verdeling van de belangrijkste bedrijfsvoeringstaken in vier werkgebieden. Deze vier werkgebieden betreffen:

- (operator)taken ten behoeve van het nucleaire deel van het proces;
- (operator)taken ten behoeve van het conventionele deel van het proces;
- taken van de wachtingenieur;
- taken van de plaatsvervangend wachtingenieur.

De werkgebieden ten behoeve van het nucleaire en het conventionele deel van het proces zijn beide onder te verdelen in een hoofdregelgebied en een systeemregelgebied. De werkgebieden ten behoeve van taken van de wachtingenieur en de plaatsvervangend wachtingenieur zijn opgenomen in het ploegleidings- en communicatiegebied.

Vanuit het hoofdregelgebied wordt de centrale opgestart vanuit de standby-toestand, wordt vermogensbedrijf gevoerd en wordt de centrale uit bedrijf genomen en weer in de standby-toestand gebracht. Het betreft de systemen die vermogensafhankelijk geregeld dienen te worden. De in het

hoofregelgebied benodigde informatie- en bedieningselementen zijn samengebracht op de bedieningslessenaar en de daarbij behorende wandpanelen.

Vanuit het systeemregelgebied worden de functies opstarten, uit bedrijf nemen en bedrijven aangestuurd. Het betreft de systemen van primaire en secundaire zijde, van het eigenbedrijf en van de ventilatie, die niet vermogensafhankelijk dienen te worden geregeld. De in het systeemregelgebied benodigde informatie- en bedieningselementen zijn samengebracht op het wandpaneel achter de bedieningslessenaar.

Naast de genoemde regelgebieden voor taken op het gebied van de bedrijfsvoering, bevindt zich in de regelzaal het reactorbeveiligingspaneel. Dit paneel zorgt ervoor, dat het wachtpersoneel bij storingen en ongevallen te allen tijde de toestand van het reactorbeveiligingssysteem en van de actieve veiligheidsvoorzieningen kan overzien. Alarmmeldingen attenderen het wachtpersoneel op het nemen van noodzakelijke handmatige maatregelen. De effectiviteit van de maatregelen die op beperking van de gevolgen van ongevallen gericht zijn, wordt met behulp van de ongevalsinstrumentatie aan het wachtpersoneel kenbaar gemaakt.

Bedieningselementen voor het uitvoeren van de periodieke beproevingen bevinden zich op het reactorbeveiligingspaneel.

Aanvullende informatievoorzieningen voor de brandmeldinstallatie, de bewaking van de ruimten alsook voor de bewaking van liften en sluizen zijn in de regelzaal ondergebracht.

De communicatievoorzieningen (omroepinstallatie, telecommunicatie-apparatuur etc.) zijn op een paneel van de regelzaal ondergebracht.

Het aanwezige procespresentatiesysteem biedt additionele diagnostische hulpmiddelen om het verloop van het proces te kunnen volgen.

De energievoorziening van de regelzaal is redundant uitgevoerd in twee strangen, zodat het functioneren gegarandeerd blijft als één voedingsstrang uitvalt.

6.4.3.1.3 **Reserve-regelzaal**

De reserve-regelzaal is uitgerust met de benodigde voorzieningen om de centrale in een veilige toestand te brengen en te houden in het geval dat de regelzaal niet beschikbaar is.

De reserve-regelzaal is ondergebracht in het reserveregelzaalgebouw (35) en bedoeld voor het veilig uit bedrijf nemen van de centrale, wanneer

- de regelzaal niet beschikbaar is;
- het nevenkoelwatersysteem (VF) uitvalt;
- invloeden van buitenaf zich doen gelden.

De reserve-regelzaal is dusdanig uitgerust, dat bij een intacte primaire kringloop van hieruit

- de reactor afgeschakeld, in de koude drukloze toestand gebracht en daarin gehouden en hierbij bewaakt kan worden;
- de vervalwarmte van de in het splijtstofopslagbassin opgeslagen, gebruikte splijtstofelementen kan worden afgevoerd.

De uitrusting van de reserve-regelzaal met bedienings-, informatie- en communicatievoorzieningen komt in principe overeen met die van de regelzaal. De hoeveelheid meet-, regel- en besturingselementen is echter afgestemd op de beperkte taak die vanuit de reserve-regelzaal moet worden uitgevoerd. Stuur- en bewakingssystemen die tijdens normaal bedrijf in de regelzaal en in voorkomende gevallen in de reserve-regelzaal nodig zijn, zijn ten opzichte van elkaar ontkoppeld, zodat zij geen invloed op elkaar kunnen uitoefenen. Hierdoor breidt een eventuele storing in de

regelzaal zich niet uit naar de reserve-regelzaal. De ont koppeling van de signalen vindt plaats in het reserveregelzaalgebouw dat bestand is tegen ongevallen met invloeden van buitenaf.

Een onafhankelijk deel van het procespresentatiesysteem biedt additionele diagnostische hulpmiddelen om het verloop van het proces te kunnen volgen.

Om de bediening vanuit de reserve-regelzaal te kunnen laten plaatsvinden, is een omschakeling van de bedieningsplaats nodig. Deze omschakeling kan na een invloed van buitenaf, of wanneer de regelzaal niet meer beschikbaar is, vanuit de reserve-regelzaal tot stand gebracht worden.

De energievoorziening van de reserve-regelzaal is redundant uitgevoerd en bestand tegen ongevallen met invloeden van buitenaf.

6.4.3.1.4 **Lokale bedieningspanelen**

Van lokale bedieningspanelen uit worden tijdens normaal bedrijf en, voor zover noodzakelijk, tijdens storingen en ongevallen bepaalde installatiedelen (hulpinstallaties) geregeld en bewaakt. Dit betreft de bedienings- en bewakingsvoorzieningen, die nodig zijn voor een onafhankelijke lokale bedrijfsvoering van installatiedelen (bijvoorbeeld een verdamperinstallatie, de installatie voor de demineralisatie, etc).

De bedieningspanelen zijn uitgevoerd als plaatstalen kasten. In een module in het onderste gedeelte aan de voorzijde, bevinden zich de benodigde bedieningselementen. In het bovenste gedeelte aan de voorzijde zijn de weergave- en registreerinrichtingen geïnstalleerd. Informatie uit installatiedelen die centraal voor het beoordelen van de systemen of van de centrale nodig is, wordt ont koppeld naar de regelzaal en de reserve-regelzaal gestuurd.

6.4.3.2 **Informatiesystemen**

6.4.3.2.1 **Proces Presentatie Systeem**

Het Proces Presentatie Systeem is een redundant opgebouwd computersysteem met protocollersuitrusting en met grafische werkstations voor procespresentatie in de regelzaal en de reserve-regelzaal, de technische ondersteuningscentra, de afdeling opleidingen en op die punten in de organisatie die voor analytische doeleinden direct het bedrijfsproces volgen.

Met uitzondering van aansturing van het kogelmeetsysteem (nodig voor bepaling van de lokale neutronenfluxdichtheid in de reactorkern) presenteert de computer procesgegevens en slaat die op. Er vindt geen sturing en/of regeling plaats. Het kogelmeetsysteem heeft een eigen besturingssysteem, waarbij de uitlezing van de kogelactivering plaatsvindt via het Proces Presentatie Systeem. Dit systeem heeft echter geen invloed op de bedrijfsvoering.

Alle signalen uit het proces die voor de bediening en de beoordeling van het proces noodzakelijk zijn, zijn op het computersysteem (galvanisch gescheiden) aangesloten. Het merendeel van deze signalen is eveneens op normale meetinstrumenten/signaalvelden weergegeven, zodat er sprake is van een dubbele presentatie.

Het Proces Presentatie Systeem presenteert, afhankelijk van soort en/of belangrijkheid (alarm en/of status) informatie op alarmschermen en beeldplaatjes, diagrammen, grafieken respectievelijk tabellen, welke een afspiegeling vormen van het werkelijke proces. De presentatie vindt plaats zowel in de vorm van een totaal overzichtspaneel in de regelzaal (Integrated Plant Status Overview) als op detail(signaal)niveau.

Op elke informatiebron (overzichtsscherm, beeldplaatje etc.) is een matrix aangebracht, die de status van de zogenaamde kritische functies aangeeft. Het niet vervuld zijn van een kritische functie leidt tot een alarm, dat een advies geeft over de te volgen acties voor het herstellen van de betreffende functie (Functie Herstel Procedure).

Naast het presenteren van procesgegevens voert de computer cyclisch berekeningen uit zoals de bepaling van het reactorvermogen, controleert op belangrijke regelingen, beschikbaarheid van componenten en procesdelen, secundaire warmtebalans, etc.

Alle signalen met een hoge resolutie worden gedurende 48 uur zodanig in het computersysteem opgeslagen dat gegevens teruggehaald kunnen worden.

Na de genoemde tijd worden de gegevens op een gegevensdrager vastgelegd en indien noodzakelijk bewaard.

Naast deze methode worden digitale signalen met een lage resolutie eenmaal per 10 minuten opgeslagen gedurende een periode van twee weken. Deze trendmatige informatie is eveneens terug te halen. Na deze periode worden de gegevens op een gegevensdrager vastgelegd en bewaard.

Het Proces Presentatie Systeem is een redundant uitgevoerd systeem, werkend volgens een standby redundante configuratie. Bij uitval van een van de delen volgt een omschakeling waarbij geen gegevens verloren gaan en waarbij de gebruiker ongehinderd zijn werk kan voortzetten. Het systeem is aangesloten op een ononderbroken voeding.

De installatie bevindt zich hoofdzakelijk in de omgevings- en toegangsbewaakte computerruimte en het reserveregelzaalgebouw (35).

6.4.3.2.2 **Dosimetriesysteem**

Ten behoeve van persoonlijke stralingsbescherming wordt de opgelopen dosis in een door een persoon gedragen dosismeter opgeslagen. Deze dosimeters hebben een voor de persoon ingestelde grenswaarde voor maximale dosis en dosistempo. De grenswaarden worden middels een computersysteem in de meters geladen zodra een persoon het gecontroleerd gebied betreedt. Bij verlaten van het gecontroleerd gebied wordt de ontvangen dosis uitgelezen en in het computersysteem opgeslagen en bewaard.

De ontvangen dosis wordt in het computersysteem bewerkt waarbij de grenswaarden voor een nieuwe entree tot het gecontroleerd gebied automatisch berekend worden. Naast de berekening van de grenzen worden de wettelijk benodigde gegevens berekend.

De historie van opgelopen dosis wordt in het systeem of op gegevensdragers bewaard. Afhankelijk van de bedrijfstoestand worden de gegevens wekelijks (normaal bedrijf) of dagelijks (splitsstofwisselperiode) naar een bevoegde instantie (thans NRG) gezonden voor vergelijking met de gegevens van de door de overheid verplicht gestelde badges. Deze instantie bepaalt uit de gegevens de wettelijke dosis en zendt deze terug naar de dosimetriecomputer, waar deze wettelijke dosis verwerkt wordt.

Het hierboven omschreven computersysteem bestaat uit een, in een netwerk opgebouwd, modulair systeem van diverse gelijksoortige computers. Hiermee worden functies als communicatie, leesstationvoorziening en file-afhandeling gescheiden. Het modulaire systeem bevindt zich in de omgevings- en toegangsbewaakte computerruimte. Het systeem is aangesloten op een ononderbroken voeding.

6.4.3.2.3 **Toegangscontrolesysteem**

Het toegangscontrolesysteem is primair een computersysteem dat de toegang van personen tot bepaalde gebieden (centrale terrein of deel hiervan) bewaakt en registreert. De toegang tot deze gebieden kan tijdsafhankelijk geregeld worden. Het systeem biedt de mogelijkheid om in geval van noodzaak snel te kunnen bepalen welke personen zich nog in aan te geven gebieden bevinden. Het systeem is opgebouwd uit een centrale computer met bij de registratieposten lokale computers. Bij uitval van de centrale computer is de lokale computer in staat een aantal bewakingen en registraties uit te voeren.

Het centrale computersysteem bevindt zich in de omgevings- en toegangsbewaakte computerruimte en is aangesloten op een ononderbroken voeding.

6.4.3.2.4 **Chemie Automatiseringssysteem**

Ten behoeve van het analyseren, administreren en archiveren van radioactieve en chemische stoffen in de diverse systemen is een Laboratorium Informatie Management Systeem aanwezig. Dit systeem is modulair opgebouwd uit computer/meet-opstellingen en een centrale "server"-computer met een "Local area network". Deze "server"-computer staat opgesteld in een daarvoor aanwezige computerruimte. De centrale "server"- computer slaat de gegevens op van uitgevoerde metingen, zodanig dat diverse metingen aan elkaar gerelateerd kunnen worden.

Het systeem is aangesloten op een ononderbroken voeding.

6.4.3.2.5 **Telefonisch Oproep Systeem**

Het telefonisch oproep (computer)systeem kan na initiatie van het regelzaalpersoneel op efficiënte wijze personeelsleden via telefoon en/of semafoon benaderen met de boodschap dat zij direct contact moeten zoeken met de centrale.

Handelingen en identificatie worden geprotocolleerd, zodat het regelzaalpersoneel overzicht krijgt welke personeelsleden de boodschap hebben ontvangen.

Het computersysteem is opgesteld in de omgevings- en toegangsbewaakte computerruimte en is aangesloten op een ononderbroken voeding.

6.4.3.3 **Veiligheidsbeschouwing**

Het procespresentatie-systeem (PPS) en de instrumenten op het reactorbeveiligingspaneel zijn redundant uitgevoerd. Daarnaast zijn de klasse S systemen (veiligheidsgevaarmeldingen) redundant opgebouwd. Bedieningsvelden op de panelen zijn niet redundant uitgevoerd. Dit is toegestaan, omdat binnen dertig minuten na een ontwerpongeval geen handmaatregelen nodig zijn.

De regelzaal en de reserve-regelzaal zijn fysiek gescheiden doordat deze ondergebracht zijn in respectievelijk het schakelgebouw (05) en in het reserveregelzaalgebouw (35) en de signalen van de reserve- en de gewone regelzaal elektrisch zijn ontkoppeld. Hierdoor kan met de panelen hun taak uitgevoerd worden tijdens invloeden van binnenuit (zie paragraaf 5.9).

Het gedeelte van het procespresentatie-systeem dat nodig is voor de beheersing van invloeden van buitenaf en de reserveregelzaal nodig voor de bediening, zijn gehuisvest in het reserveregelzaalgebouw (35). Dit gebouw is hiertegen bestand, terwijl dit gedeelte van het procespresentatiesysteem en de reserveregelzaal zelf ook bestand zijn tegen aardbeving. In

paragraaf 5.10 is de bestendigheid van dit deel van het procespresentatiesysteem en de reserveregelzaal tegen invloeden van buiten af aangetoond.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat met de regelzaal en de reserveregelzaal de veronderstelde ontwerp-ongevallen (voor zowel korte als lange termijn) beheerst kunnen worden.

6.5 ELEKTROTECHNISCHE INSTALLATIE

In hoofdstuk 6.5 worden de elektrotechnische installaties beschreven. Allereerst wordt in paragraaf 6.5.1 de aansluiting op het net beschreven. Paragraaf 6.5.2 geeft een beschrijving van de wijze waarop in de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf wordt voorzien. In paragraaf 6.5.3 wordt ingegaan op de noodstroomvoorziening. De verlichting en huisinstallatie respectievelijk de aarding en bliksembeveiliging worden in de paragrafen 6.5.4 en 6.5.5 beschreven.

De elektrische schakeling van de belangrijkste rails en schakelinstallaties is in een overzichtschema afgebeeld (zie figuur 6.5/1). De elektrotechnische installatie is onderverdeeld in het normale bedrijfsnet, noodstroomnet 1 en noodstroomnet 2. Het normale bedrijfsnet voorziet tijdens normaal bedrijf in de stroomverzorging. Als het normale bedrijfsnet uitvalt, vormen noodstroomnet 1 en noodstroomnet 2 de noodstroomvoorziening, waarmee het mogelijk is de centrale veilig uit bedrijf te nemen.

6.5.1 Aansluiting op het net

De functies van de elektrotechnische installatie zijn:

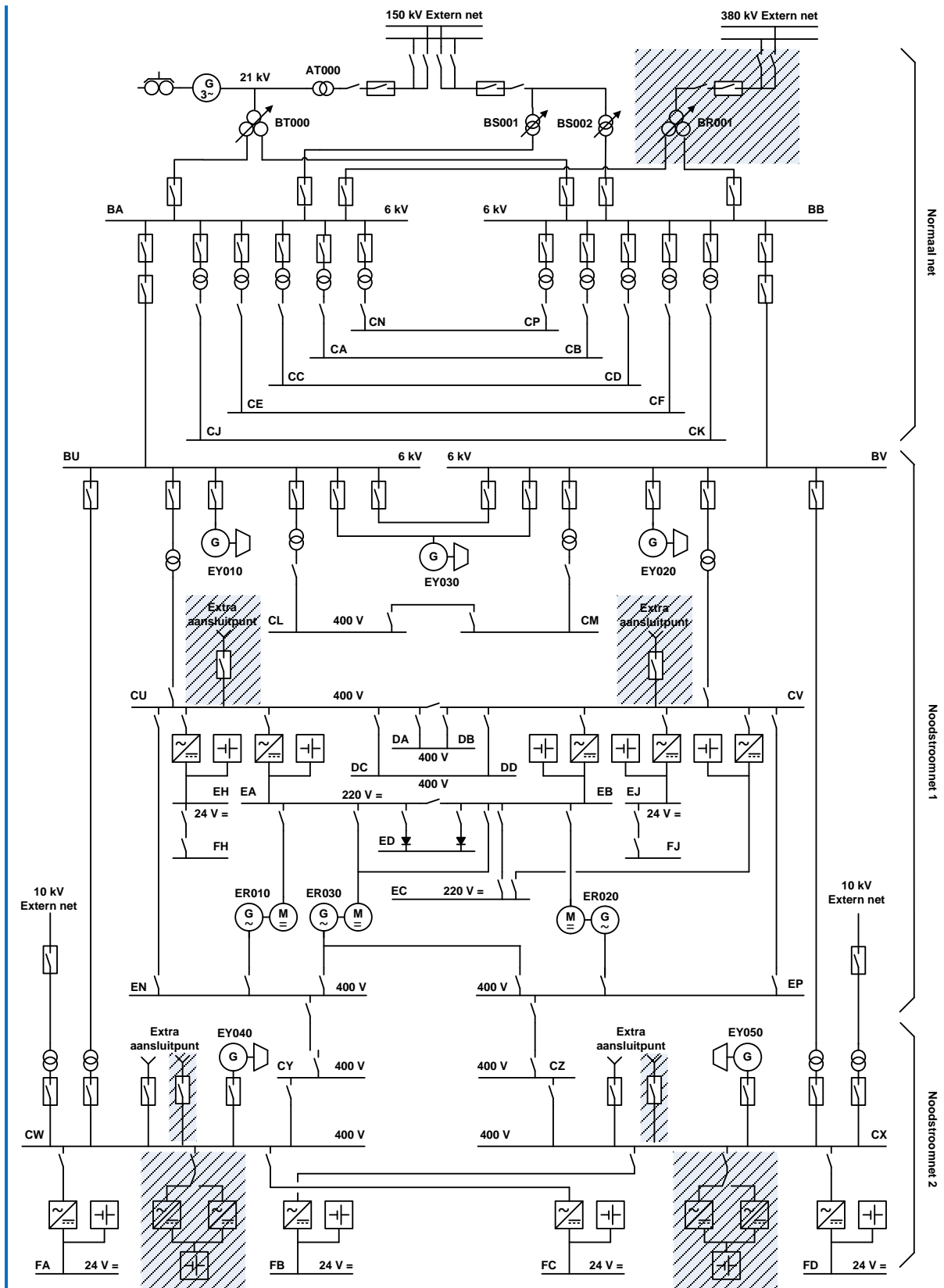
- het afvoeren van de door de generator opgewekte elektrische energie naar het externe net;
- de levering van elektrische energie aan de eigen verbruikers, inclusief noodstroomvoorziening;
- gebruikers van spanning voorzien die bij uitval van het normale bedrijfsnet nodig zijn om de centrale veilig uit bedrijf te kunnen nemen.

Het elektrisch vermogen van de kernenergiecentrale wordt geleverd aan het 150 kV-net. De generator, de eigenbedrijfstransformator (BT000) en de machinetransformator (AT000) zijn in blok geschakeld; zij zijn door een railkokersysteem met elkaar verbonden. Bij het opstarten van de centrale wordt de generator gekoppeld aan het externe net via de 150 kV-schakelaar, nadat de generator gesynchroniseerd is met het externe 150 kV-net.

Wanneer de generator geen vermogen levert, bijvoorbeeld bij het opstarten of het afschakelen van de installatie, wordt de stroombehoefte voor het eigenbedrijf van het 150 kV-net betrokken via de starttransformatoren (BS001 en BS002). Bovendien is er door middel van een directe ondergrondse verbinding met ~~het 380 kV-net de naburige kolen/gas-gestookte centrale (CCB)~~ voorzien in een alternatieve voeding van de bedrijfs- en noodstroomnetten van de kernenergiecentrale (BR001). Hierdoor zijn er twee **onafhankelijke** mogelijkheden: voeding door ~~CCB of door~~ het externe 150 kV-net **of door het externe 380 kV-net**.

Het 6 kV-net wordt met een zwevend sterpunt bedreven, zodat een 1-fase aardlekfout geen hoge foutstroom tot gevolg heeft. Ter bescherming van het 400 V-net is een meervoudige veiligheidsaarding met gescheiden gelegde veiligheidsaardleider toegepast.

Bij de kabeltracering tussen de afzonderlijke gebouwen zijn de vermogenskabels en de meet- en regelkabels in afzonderlijke kabelgoten gelegd, waardoor de wederzijdse elektromagnetische beïnvloeding wordt beperkt.



Figuur 6.5/1 Elektrotechnische installaties, - overzicht -

6.5.2 Stroomvoorziening voor het eigenbedrijf

6.5.2.1 Algemeen

Het stroomvoorzieningsnet voor het eigenbedrijf is over twee rails verdeeld (BA en BB). Het eigenbedrijfsvermogen op een spanningsniveau van 21 kV dat aan de generatorklemmen beschikbaar is, wordt afgetakt en via de eigenbedrijfstransformator (BT000) met drie wikkelingen (één 21 kV en twee 6 kV) met een vermogen van 36/20/20 MVA omgezet in 6 kV. Elk van de twee 6 kV-wikkelingen voedt een eigenbedrijfsrail (BA respectievelijk BB).

Bij een niet op vol vermogen werkende generator, zoals bij het in bedrijf nemen, bij het afschakelen of bij een storing, wordt het eigenbedrijfsvermogen vanuit het 150 kV-schakelstation geleverd via de beide starttransformatoren (BS001 en BS002).

De ~~tweede onafhankelijke~~ verbinding met ~~het externe 380 kV-net de CCB~~ fungeert als ~~alternatieve voeding voor het eigen bedrijfsnet (bij afgeschakelde reactor)~~ alternatief voor de starttransformatoren (BS001/002). Deze ~~tweede netaansluiting is onafhankelijk van de eerste netaansluiting (150 kV) door rechtstreekse aansluiting met ondergrondse 6 kV kabels via transformator BR001 op het 380 kV-schakelstation.~~

Bij uitval van de generatorspanning vindt automatisch omschakelen naar de starttransformatoren of ~~tweede netverbinding~~ plaats door middel van elektronisch werkende snelomschakelapparatuur en snel schakelende vermogensschakelaars. Deze laatste bewerkstelligen een spanningsverzorging met een onderbreking van slechts enige tientallen milliseconden waardoor alle actieve componenten in bedrijf blijven. Hierbij worden de noodstroomdieselaggregaten niet ingeschakeld. ~~Bij niet-beschikbaarheid of falen van de eerste omschakeling zal na enkele seconden naar de 380 kV-netverbinding omgeschakeld worden. Als ook deze omschakeling faalt, dan wordt overgeschakeld op voeding door de noodstroomdieselaggregaten.~~

Als het externe net uitvalt, wordt overgeschakeld naar alleen de stroomvoorziening voor eigenbedrijf (eilandbedrijf). Wanneer de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf niet beschikbaar is, wordt de benodigde energie betrokken via de noodstroomaggregaten (zie paragraaf 6.5.3).

6.5.2.2 6 kV-installaties

De 6 kV-installaties (BA/BB en BU/BV) bestaan uit schakeleenheden die met stalen beplating omsloten zijn. Door compartimentering in een verzamelrailruimte, een schakelruimte, een kabelaanluitingsruimte en een laagspanningsruimte zijn de schakeleenheden onderverdeeld. Hierdoor zijn storingen in een 6 kV-installatie niet van invloed op andere delen van de 6 kV-installatie (bijvoorbeeld bij vonkontladingen of brand). Uitval van één schakeleenheid leidt niet tot uitval van de hele 6 kV-installatie.

De vermogensschakelaars en de spanningstransformatoren zijn op uitrijdbare schakelwagens geplaatst.

Aan iedere rail is een meetveld gekoppeld, dat de noodzakelijke spannings- en aardlekbewakingsapparatuur bevat.

6.5.2.3 Laagspanningsinstallaties

De 400 V-hoofdverdeelinrichtingen zijn uitgevoerd als laagspanningsverdelers die van een stalen beplating zijn voorzien. De afzonderlijke velden zijn onderverdeeld in uitschuifbare en vast ingebouwde apparatenpanelen.

Ter bescherming is een meervoudige veiligheidsaarding met gescheiden gelegde veiligheidsaardleider toegepast.

De beide rails van elke 400 V-hoofdverdeelinrichting (CN/CP, CA/CB, CC/CD, etc.) worden via motorbediende schakelaars en transformatoren door de bijbehorende helft van de 6 kV-installatie (BA/BB) gevoed. Elk van beide overeenkomstige transformatoren kan de totale stroombehoefte van de op die beide rails (CN/CP, CA/CB, CC/CD, etc.) aangesloten verbruikers verzorgen. Bij een spanningsuitval van één van de 6 kV-rails wordt de koppeling door een automatische omschakelaar verbroken en wordt de verbinding met de andere spanningvoerende rail via een koppelschakelaar tot stand gebracht. Uitzonderingen hierop zijn de rails zoals CL en CM, waarvan beide koppelschakelaars met de hand bediend kunnen worden (AM-maatregel).

Voor de afzonderlijke aftakkingen zijn de benodigde bewakingsapparatuur en de elektrische sturingen van de motoraandrijvingen in schuifladen ondergebracht. Vergrendelingen voorkomen dat schuifladen met ingeschakelde apparatuur in de verdeelinrichtingen kunnen worden geschoven of daaruit verwijderd kunnen worden.

6.5.2.4 **Elektronische besturing**

Voor de bewaking, handbediening op afstand en automatische omschakelingen van de hoog- en laagspanningsapparatuur van de 6 kV-eigenbedrijfs- en noodstroomvoorzieningen is een elektronisch besturingssysteem aanwezig.

De onderdelen van de apparatuur (printplaten) zijn in plaatstalen kasten ondergebracht. Deze kasten zijn door schotten van elkaar gescheiden. De voedingsspanning bedraagt 24 V en wordt vanaf gescheiden rails naar elke kast gevoerd via een dubbele stroomingang met ontkoppelingsdiodes.

De automatische 6 kV-omschakelaar is een belangrijk systeemonderdeel binnen de besturing. Hiermee wordt de omschakeling van de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf vanaf de starttransformatoren naar de eigenbedrijfstransformator of omgekeerd tot stand gebracht. Deze automatische omschakeling wordt door het reactorbeveiligingssysteem (in het geval van uitval van de generatorspanning) of handmatig vanaf het bedieningspaneel in de regelzaal aangestuurd.

In de 6 kV-installaties wordt iedere aftakking door een overstroomtijdrelais bewaakt; dit zorgt ervoor dat bij overbelasting of kortsluiting het afgaande veld wordt ontkoppeld.

Alle 400 V-hoofdverdeelinrichtingen (met uitzondering van de rails CL en CM) zijn eveneens voorzien van een automatische omschakelaar, waarmee door het activeren van een koppelschakelaar de verbinding tot stand wordt gebracht tussen de spanningsloze en de spanningsvoerende rail.

Bij de voedingen en koppelingen van de 400 V-hoofdverdeelinrichtingen zorgen overstroomrelais ervoor, dat de ontwerpwaarden niet overschreden worden en dat de automatische schakelaar selectief wordt ingeschakeld als er een storing optreedt.

6.5.2.5 **Kabels**

Vermogenskabels zijn voorzien van PVC-isolatie en -buitenmantels. Bij de keuze van de doorsnede van de aders is voor een zo hoog mogelijke kortsluit- en bedrijfstrom gekozen, waarbij rekening gehouden is met de omgevingstemperatuur en het aantal gebruikte kabels per tracé.

Binnen de veiligheidsomhulling zijn voor de kabels van aandrijvingen, die tijdens en na een ongeval met verlies van koelmiddel moeten blijven functioneren, en de bijhorende meet- en regelkabels isolatie en mantels op siliconenbasis gebruikt. Deze kabels zijn bestand tegen de omstandigheden die kunnen optreden tijdens en na een dergelijk ongeval.

De kabels voor de neutronenflux-instrumentatie zijn in met kunststof geïsoleerde koperen buizen gelegd, waardoor ze effectief beschermd worden tegen externe elektromagnetische storingsvelden.

Voor de veiligheid belangrijke en daarom redundant uitgevoerde elektrische verbruikers worden door ruimtelijk gescheiden schakel- respectievelijk regeltechnische installaties bediend. De voeding geschiedt vanuit gescheiden ruimten, die tot verschillende brandsectoren behoren. Er is ook ruimtelijke scheiding toegepast bij kabelbruggen tussen gebouwen en de kabelkanalen naar het reactorgebouw, of er is voor dit doel gebruik gemaakt van gelijkwaardige brandafscheiding. Tevens zijn de kabels zelf bestand tegen de invloed van brand.

6.5.2.6 Hoogspanningsmotoren

Voor aandrijvingen met een vermogen van meer dan 155 kW worden voornamelijk hoogspanningsmotoren (6 kV) gebruikt. Met het oog op de kortsluitbelasting en de nominale stroomsterkte van de voedingen van de eigenbedrijfsschakelinstallaties, is gekozen voor een nominale spanning van 6 kV.

Alle hoogspanningsmotoren hebben geïsoleerde statorwikkelingen. Om statische lading ten gevolge van wrijving tegen te gaan, is op het oppervlak van de spoelen aan de groefuitgang een hoogwaardige halfgeleidende laag aangebracht ter beveiliging tegen een corona-ontlading aan de uiteinden.

De isolatie voldoet aan categorie B van de VDE-richtlijn 0530 of een gelijkwaardige norm. De wikkelkoppelen zijn zodanig versterkt, dat de motoren zonder beperking geschikt zijn voor alle tijdens het bedrijf voorkomende stootbelastingen bij het omschakelen. De motoren zijn gebouwd volgens beschermklasse IP 33.

6.5.2.7 Laagspanningsmotoren

Als laagspanningsmotoren (400 V) zijn standaardmotoren met tenminste beschermklasse IP 33 toegepast. De wikkelingsisolatie voldoet aan categorie B van de VDE-richtlijn 0530 of een gelijkwaardige norm.

Aandrijfmotoren die binnen de veiligheidsomhulling gebruikt worden en die bij een eventueel ongeval met verlies van koelmiddel moeten blijven functioneren of in werking moeten treden, zijn conform isolatieklasse H met een verhoogde maximum temperatuur, of met een speciaal isolatiemateriaal uitgevoerd. Dit betekent, dat deze motoren gekwalificeerd zijn voor de dan optredende omgevingscondities.

6.5.2.8 Transformatoren

6.5.2.8.1 Machinetransformator (AT000)

De machinetransformator (AT000) is een draaistroomtransformator met een nominaal vermogen van 615 MVA. Deze moet het koppelnet voeden met de door de generator opgewekte elektrische energie en dient hiervoor de spanning van de generator (21 kV) naar de spanning van het koppelnet (150 kV) om te zetten.

De hoogspanning van de machinetransformator kan binnen een marge van $\pm 10\%$ worden aangepast.

Aan de laagspanningszijde is de machinetransformator door middel van doorvoerisolatoren verbonden met de aftakkabels van de generator. De hoogspanningszijde is via condensatordoorvoerisolatoren met het bovengrondse net verbonden. De verlieswarmte wordt via een olie/waterkoelinstallatie afgevoerd.

6.5.2.8.2 **Eigenbedrijfstransformator (BT000)**

De eigenbedrijfstransformator moet het spanningsverschil overbruggen en het vermogen overbrengen van de generator (21 kV) naar de 6 kV-eigenbedrijfsinstallatie.

Het is een transformator met olie/luchtcooling en die uitgerust is met drie wikkelingen (één 21 kV en twee 6,3 kV) met een nominaal vermogen van 36/20/20 MVA die de generatorspanning van 21 kV (ongeveer 12 %) omzet in tweemaal 6 kV. Beide spanningshelften zijn verbonden met één van de twee 6 kV-eigenbedrijfsrails (BA/BB).

De doorvoerisolatoren aan hoogspanningszijde zijn van raamflenzen voorzien voor de aansluiting van het fasegescheiden railkokersysteem.

6.5.2.8.3 **Starttransformatoren (BS001/002)**

De beide starttransformatoren BS001 en BS002 hebben elk een vermogen van 20 MVA. Het zijn olie/luchtgekoelde transformatoren met een dubbele wikkeling, die 150 kV ($\pm 15\%$) omzetten in 6 kV.

De stappenschakelaars aan de hoogspanningszijde worden automatisch zo afgesteld, dat de spanning op de eigenbedrijfsrails (BA/BB) constant gehouden wordt.

Als de generator niet beschikbaar is, kunnen de beide starttransformatoren het volledige eigenbedrijfsvermogen vanaf het 150 kV-net naar elk van de 6 kV-eigenbedrijfsrails (BA en BB) verzorgen.

6.5.2.8.4 **Transformator voor de tweede onafhankelijke netvoeding (BR001)**

De transformator voor de tweede onafhankelijke netvoeding (BR001) is uitgerust met drie wikkelingen (één 380 kV en twee 6,3 kV) met een nominaal vermogen van 40/20/20 MVA. Beide spanningshelften zijn verbonden met één van de twee 6 kV-eigenbedrijfsrails (BA/BB).

De stappenschakelaars aan de hoogspanningszijde worden automatisch zo afgesteld, dat de spanning op de eigenbedrijfsrails (BA/BB) constant gehouden wordt.

Als de generator en de starttransformatoren niet beschikbaar zijn, kan de onafhankelijke tweede netvoeding het volledige eigenbedrijfsvermogen vanaf het 380 kV-net naar elk van de 6 kV-eigenbedrijfsrails (BA en BB) verzorgen.

6.5.2.8.5 Laagspanningstransformatoren (CT)

De laagspanningstransformatoren leveren de voor het eigenbedrijf benodigde 400 V vanaf de 6 kV-eigenbedrijfsrails. Deze transformatoren bevinden zich in de transformatorruimte in het schakelgebouw (05), met uitzondering van een transformator in het koelwaterinlaatgebouw (21).

De warmteafvoer vindt plaats door radiatorkoelers van het transformatorhuis. Het gaat hierbij om luchtkoeling.

De sterpunten zijn in overeenstemming met het in het laagspanningsnet toegepaste veiligheidsaardingssysteem vast met de aarde verbonden.

6.5.2.9 Doorvoeringen door de veiligheidsomhulling

Voor de doorvoering van kabels door de veiligheidsomhulling zijn ongevalsbestendige kabeldoorvoerisolatoren van voorgespannen glas toegepast.

Deze kabeldoorvoerisolatoren zijn bestand tegen de omgevingscondities die bij een ongeval met verlies van koelmiddel binnen de veiligheidsomhulling kunnen optreden.

6.5.3 Noodstroomvoorziening

6.5.3.1 Algemeen

Indien de eigenbedrijfsinstallatie spanningsloos is geworden, worden alle verbruikers die noodzakelijk zijn voor het veilig uit bedrijf nemen en in een veilige toestand houden van de installatie, door de noodstroominstallatie (noodstroomnetten 1 en 2) van spanning voorzien.

Het noodstroomnet 1 is dubbel uitgevoerd en bestaat uit twee onafhankelijke noodstroomrails BU en BV. Deze beide noodstroomrails worden tijdens vermogensbedrijf gevoed door het normale bedrijfsnet en worden tijdens noodstroombedrijf gevoed door elk een eigen dieselaggregaat (EY010 respectievelijk EY020). De dieselaggregaten starten automatisch wanneer de spanning van de noodstroomrails wegvalt. Het reserve dieselaggregaat (EY030) is zodanig opgesteld dat een van beide noodstroomrails er door gevoed kan worden. Wanneer één van de dieselaggregaten EY010 of EY020 weigert te starten neemt het reserve dieselaggregaat de functie van dit aggregaat over. Tijdens onderhoudswerkzaamheden worden de dieselaggregaten handmatig bediend vanaf de lokale bedieningspanelen. Vanaf de 6 kV-noodstroomrails BU en BV worden via twee transformatoren van elk 2000 kVA de 400 V-noodstroomrails CU en CV gevoed. Via twee andere transformatoren van elk 800 kVA worden de 400 V-noodstroomrails CL en CM gevoed.

In het kader van Accident Management (AM) zijn aansluitpunten van 277 kVA voorzien op de 400 V-noodstroomrails CU en CV ten behoeve van een snelle gerichte koppeling met een eenvoudig mobiel noodstroomaggregaat.

~~De directe verbinding van de naburige kolen-/gasgestookte centrale (CCB) met de 6 kV-eigenbedrijfsrails BA respectievelijk BB vormt een alternatieve voeding van de noodstroomvoorziening voor de situatie dat zowel de voeding vanuit het normale net als via de noodstroomdieselaggregaten niet beschikbaar is. Ook zal deze alternatieve voeding gebruikt worden om een langdurig bedrijf van de noodstroomdieselaggregaten te vermijden. De voeding heeft als bron CCB of het externe 150 kV-net.~~

Het noodstroomnet 2 is eveneens dubbel uitgevoerd en bestaat uit twee onafhankelijke noodstroomrails CW en CX. Deze beide noodstroomrails hebben elk een eigen dieselaggregaat ter beschikking (EY040 respectievelijk EY050). De beide noodstroomrails worden tijdens vermogensbedrijf gevoed vanuit het externe 10 kV-net en kunnen tijdens noodstroombedrijf worden gevoed vanuit de dieselaggregaten van noodstroomnet 2 en als dit mislukt vanuit het eigen 6kV-net (vanuit rails BU/BV van noodstroomnet 1). Tenslotte is elke rail nog voorzien van ~~een~~ twee extra aansluitpunten voor het aankoppelen van een mobiele noodstroomvoorziening. In het kader van Accident Management (AM) is het mogelijk om binnen 2 uur een groot mobiel dieselaggregaat (EY080) te koppelen met de CW of de CX rail. Tevens zijn aansluitpunten voorzien ten behoeve van een snelle gerichte koppeling met een eenvoudig mobiel noodstroomaggregaat.

De componenten voor de stroomvoorziening van noodstroomnet 2 en het reservesuppletiegebouw waarin deze zijn gehuisvest, zijn ontworpen tegen invloeden van buitenaf. Alle systemen die na invloeden van buitenaf nodig zijn, worden daarom door dit noodstroomnet gevoed.

Van elk van beide noodstroomnetten is één rail en één dieselaggregaat voldoende om een redundantie van de veiligheidssystemen gedurende elk ontwerpgeval te kunnen voeden.

In het kader van Accident Management (AM) is het mogelijk de BU-respectievelijk BV-rail van noodstroomnet 1 te koppelen met de CW- respectievelijk CX-rail van noodstroomnet 2.

6.5.3.2 **Dieselininstallaties**

De dieselaggregaten EY010 en EY020 van het noodstroomnet 1 zijn met alle hulpsystemen, schakelinstallaties, regelingen en lokale bedieningspanelen in verschillende ruimten ondergebracht in het noodstroomdieselgebouw II (72).

Het reserve dieselaggregaat EY030, dat EY010 of EY020 kan vervangen, bevindt zich in het noodstroomdieselgebouw I (10).

De generatoren van de dieselaggregaten EY010, EY020 en EY030 zijn borstelloze synchroongeneratoren. Zij worden aangedreven door snellopende, watergekoelde viertaktdieselmotoren, die met behulp van druklucht gestart worden. Elk aggregaat heeft voor de brandstofvoorziening een eigen dagtank en voorraadtank. Bij de dieselaggregaten EY010 en EY020 wordt de afvalwarmte via de bijbehorende ventilatorkoelers aan de buitenlucht afgegeven. De afvalwarmte van aggregaat EY030 wordt aan het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) afgegeven.

Elk dieselaggregaat beschikt over de benodigde metingen, gevaarmeldingen en beveiligingen. Verder beschikt ieder aggregaat over een lokaal bedieningspaneel. Deze bedieningspanelen zijn ruimtelijk gescheiden van de dieselaggregaten opgesteld. Vanaf deze panelen kunnen de aggregaten handmatig worden bediend onder andere ten behoeve van uit te voeren beproevingen.

Het door elk noodstroomdieselaggregaat geleverde vermogen van 4350 kW voorziet in de maximaal te verwachten behoefte.

De dieselaggregaten EY040 en EY050 van het noodstroomnet 2 zijn in verschillende ruimten ondergebracht in het reservesuppletiegebouw (33). Met het door hen opgewekte vermogen worden de pompen van het reservesuppletiesysteem (RS), het primaire suppletiesysteem (TW), het reservenkoelwatersysteem (TE), het reservenoodkoelwatersysteem (VE) en de veiligheidsmeet- en regelsystemen nodig voor het uit bedrijf nemen en in een veilige situatie houden van de centrale van energie voorzien.

Het door elk noodstroomdieselaggregaat geleverde vermogen van 880 kW dekt de maximaal te verwachten behoefte.

6.5.3.3 **Omvormers**

In noodstroomnet 1 voorzien de omvormers (ER010, ER020, ER030) de 400 V-ononderbroken rails EN en EP van spanning. Op deze rails zijn componenten aangesloten die ononderbroken bedienbaar moeten zijn. De beide rails EN en EP hebben elk een eigen omvormer (ER010 respectievelijk ER020). De reserveomvormer ER030 is dusdanig opgesteld dat zowel rail EN als rail EP er door gevoed kan worden, wanneer één van de omvormers ER010 of ER020 niet beschikbaar is. De omvormers ER010 en ER020 zijn met hun besturing in verschillende ruimten van het noodstroomdieselgebouw II (72) ondergebracht. De reserveomvormer ER030 bevindt zich in het schakelgebouw (05). Elke omvormer bestaat uit een 220 V-gelijkstroommotor, die een borstelloze 400 V-draaistroomsynchroongenerator aandrijft. Om de opgewekte spanning en frequentie constant te houden, heeft elke omvormer een spannings- respectievelijk frequentieregeling.

Elke omvormer is uitgevoerd met een eigen synchroniseerapparaat, zodat onderbrekingsloos met de omvormers kan worden geschakeld.

6.5.3.4 Accu's en gelijkrichters voor 220 V en 24 V

De gelijkstroommotoren van de generatoren werken op 220 V gelijkspanning. Deze wordt met gelijkrichters in parallelbedrijf met loodaccu's opgewekt en aan de 220 V-gelijkstroomrails EA en EB geleverd (noodstroomnet 1). Dit is ook het geval bij de 24 V-gelijkspanningrails EH en EJ ten behoeve van de veiligheidsmeet- en regelsystemen en de elektronische besturingssystemen (noodstroomnet 1).

De 24 V-voeding van de veiligheidsmeet- en regelsystemen (noodstroomnet 2) in het reserve suppletiegebouw (33) en het reserveregelzaalgebouw (35) (FA, FB, FC en FD) is over twee redundante systemen verdeeld, elk voorzien van twee gelijkrichters met accu's. Rail FC van redundantie 2 wordt gevoed door rail CW van redundantie 1 en rail FB van redundantie 1 wordt gevoed door rail CX van redundantie 2. Hierdoor komt de 24 V-stroomvoorziening van de veiligheidsmeet- en regelsystemen niet in gevaar, ook niet als één van de twee 400 V-rails, CW respectievelijk CX, uitvalt.

In het kader van Accident Management (AM) is additionele batterijcapaciteit geplaatst op zowel CW als CX om de koeling van de reactorkern te kunnen blijven verzorgen door middel van het afblazen van stoom middels het bedienen van primaire en/of secundaire afblaaskleppen.

Wanneer de netspanning beschikbaar is, verzorgen de gelijkrichters de verbruikersstroom van dat ogenblik en levert tegelijkertijd de laadstroom of bufferstroom voor de bijbehorende batterij aan. Daardoor beschikt elke batterij steeds over zijn volle vermogen, zodat bij een ontladtijd van tenminste 2 uur de minimaal vereiste voedingsspanning van de verbruikers niet onderschreden wordt.

6.5.4 Verlichting en huisinstallatie

Voor de verlichting en de huisinstallatie zijn stroomvoorzieningen aanwezig.

6.5.4.1 Normaal net 400 V/220 V, 50 Hz

De verlichtingsverdeelinrichting bestaat uit de twee railsecties CN en CP, die via twee 630 kVA-transformatoren vanaf de 6 kV-eigenbedrijfsrails (BA, BB) gevoed wordt. Het normale verlichtingsnet wordt hierdoor van stroom voorzien.

Tijdens normaal bedrijf staat de koppelschakelaar open. Als een voedingsrail uitvalt of uitgeschakeld moet worden, kan het gehele verlichtingsnet met gesloten koppelschakelaar via de actieve railsectie verder van spanning worden voorzien, aangezien elke transformator berekend is op het totaal benodigde vermogen.

6.5.4.2 Noodverlichtingsinstallatie

De noodverlichtingsinstallatie vormt één geheel met het normale verlichtingssysteem, met dien verstande dat een deel van de lichtverdeelkasten op de noodstroomrails is aangesloten. Hierdoor is de voeding verzekerd van lichtpunten en wandcontactdozen, die bij het volledig uitvallen van het normale net zowel voor het bedrijf en de bewaking als voor de veiligheid noodzakelijk zijn, zoals de wandcontactdozen voor de activiteitsmeetapparatuur of de verlichting van de lokale bedieningspanelen. Ook de regelzaalverlichting is op de noodstroomrails aangesloten.

Het noodverlichtingsnet wordt gevoed vanaf de noodstroomrails. Dit zijn voor het reservesuppletiegebouw (33) en het reserveregelzaalgebouw (35) de rails CW/CX en voor de andere gebouwen CU/CV.

6.5.4.3 Vluchtwegverlichting

De stroomvoorziening van het vluchtwegverlichtingsnet van de KCB vindt plaats via de ononderbroken (no-break) 400 V-schakelinstallaties vanaf de rails EN/EP en CY/CZ. Deze rails kunnen gevoed worden door accu's met een ontladingstijd van tenminste 2 uur. De ononderbroken verlichting van de vluchtroutes is hierdoor ook bij het volledig wegvallen van het normale net verzekerd.

De vluchtwegverlichting in de gebouwen 33, 35 en 72 bestaat uit armaturen met ingebouwde bufferbatterij.

6.5.5 Aarding en bliksembeveiliging

Bedrijfsaarding

De gebouwen van de kernenergiecentrale zijn voorzien van een binnenaarding die is verbonden met aardingspunten. Alle te aarden onderdelen zijn op deze binnenaarding aangesloten.

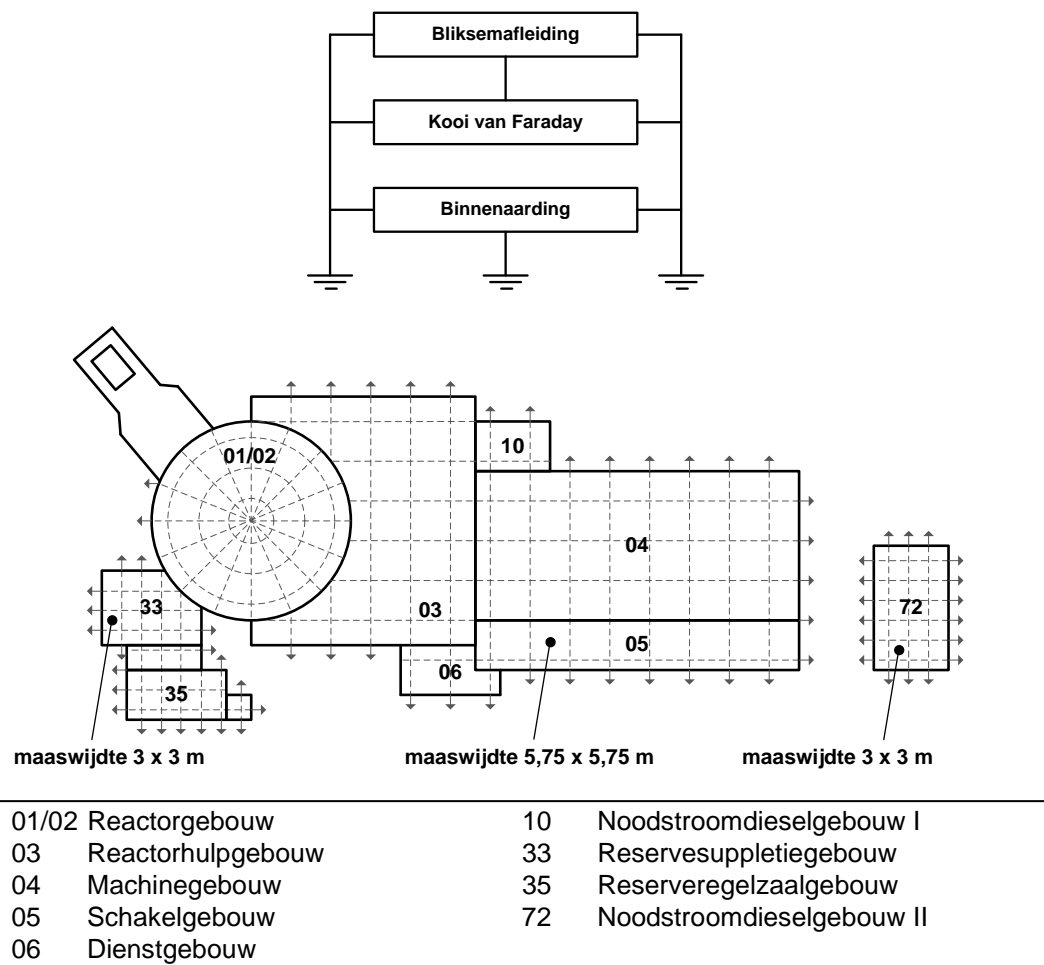
Het 6 kV-net en het generatorsterpunt zijn niet geaard. Hierdoor wordt voorkomen dat bij een 1-fase aardsluiting een kortsluiting ontstaat. Het 400 V-net heeft wel een nulaarde, omdat dit net asymmetrisch belast wordt.

Bliksembeveiliging

De gebouwen van de kernenergiecentrale zijn voorzien van bliksemafleiding die is gekoppeld aan de aardingspunten.

Bovendien zijn de belangrijkste gebouwen voorzien van bliksemafscherming door het wapeningsstaal in de daken en wanden op regelmatige afstanden volledig door te lassen. Hierdoor ontstaan zogenaamde "kooien van Faraday", die zijn verbonden met de aardingspunten. Ook rond ondergrondse kabels is een kooi van Faraday aangebracht.

Het bovenstaande is schematisch weergegeven in figuur 6.5.5/1.



Figuur 6.5.5/1 Aarding en bliksembeveiliging - Principeschema -

6.5.6 Veiligheidsbeschouwing elektrotechnische installatie

De stroomvoorziening van veiligheidsrelevante systemen en componenten van de centrale is nodig voor de beheersing van ontwerp-ongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium hierop van toepassing. De veiligheidsrelevante systemen en componenten worden gevoed door de noodstroomvoorziening (noodstroomnet 1 en 2) als het normale bedrijfsnet uitvalt. Zowel noodstroomnet 1 als noodstroomnet 2 zijn dubbel uitgevoerd. Daarmee wordt voldaan aan het enkelvoudig faalcriterium.

De elektrotechnische installatie is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na het begin van een ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn. De noodstroomvoorziening is ontworpen om de centrale veilig uit bedrijf te kunnen nemen en in een veilige situatie te houden tijdens uitval van spanning van het normale bedrijfsnet.

Ruimtelijke scheiding is toegepast voor de redundancies van zowel noodstroomnet 1 als noodstroomnet 2. Daarnaast bestaat het normale bedrijfsnet uit twee ruimtelijk gescheiden (niet-redundante) strangen met daaraan de verbindingen naar de generator en het externe net.

De elektrotechnische installatie dient zijn taak uit te kunnen voeren in geval van het optreden van invloeden van binnenuit. Bescherming tegen invloeden van binnenuit wordt voornamelijk gerealiseerd door de ver doorgevoerde ruimtelijke scheiding. Voor specifieke zaken zijn additionele maatregelen getroffen. Hiermee is de elektrotechnische installatie bestand tegen invloeden van binnenuit (zie paragraaf 5.9).

Van de elektrotechnische installatie is noodstroomnet 2 nodig voor de beheersing van invloeden van buitenaf. Noodstroomnet 2 is ontworpen tegen invloeden van buitenaf en is gehuisvest in gebouwen die hier eveneens tegen bestand zijn. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van noodstroomnet 2 tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

De elektrotechnische installatie kan de veiligheidsrelevante systemen en componenten voeden, waarmee in paragraaf 7.1 is aangetoond dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen (voor zowel korte als lange termijn) beheerst kunnen worden.

6.6 BEDRIJFS- EN HULPSYSTEMEN

In paragraaf 6.6 wordt een beschrijving gegeven van de bedrijfs- en hulpsystemen. In de paragrafen 6.6.1-6.6.4 worden het nucleaire tussenkoelwatersysteem, het conventioneel tussenkoelwatersysteem, het nood- en nevenkoelwatersysteem en het hoofdkoelwatersysteem besproken. In de resterende paragrafen worden procestechnische hulpsystemen beschreven, zoals het volumeregelsysteem en het nucleair chemicaliëndoseersysteem.

6.6.1 Nucleair tussenkoelwatersysteem (TF)

6.6.1.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) vormt de middelste schakel in de voor de veiligheid belangrijke nakoelketen. Deze nakoelketen bestaat uit het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), het nucleair tussenkoelwatersysteem en het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF).

Het TF-systeem heeft tot taak de tijdens het bedrijf en bij ongevallen vrijkomende warmte op te nemen van koelers in het gecontroleerd gebied en af te geven aan het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF). Met name van belang is de warmte-afvoer vanuit de veiligheidstechnisch relevante verbruikers, waaronder de nakoelers (TJ) en de SOB-koelers (TG). Verder vormt het TF-systeem een barrière tussen de Westerschelde en de nucleaire systemen.

Het nucleaire tussenkoelwatersysteem is zo ontworpen, dat de vrijkomende warmte bij verschillende bedrijfssituaties en ongevalsituaties kan worden afgevoerd. Het TF-systeem is uitgevoerd in twee gescheiden strangen.

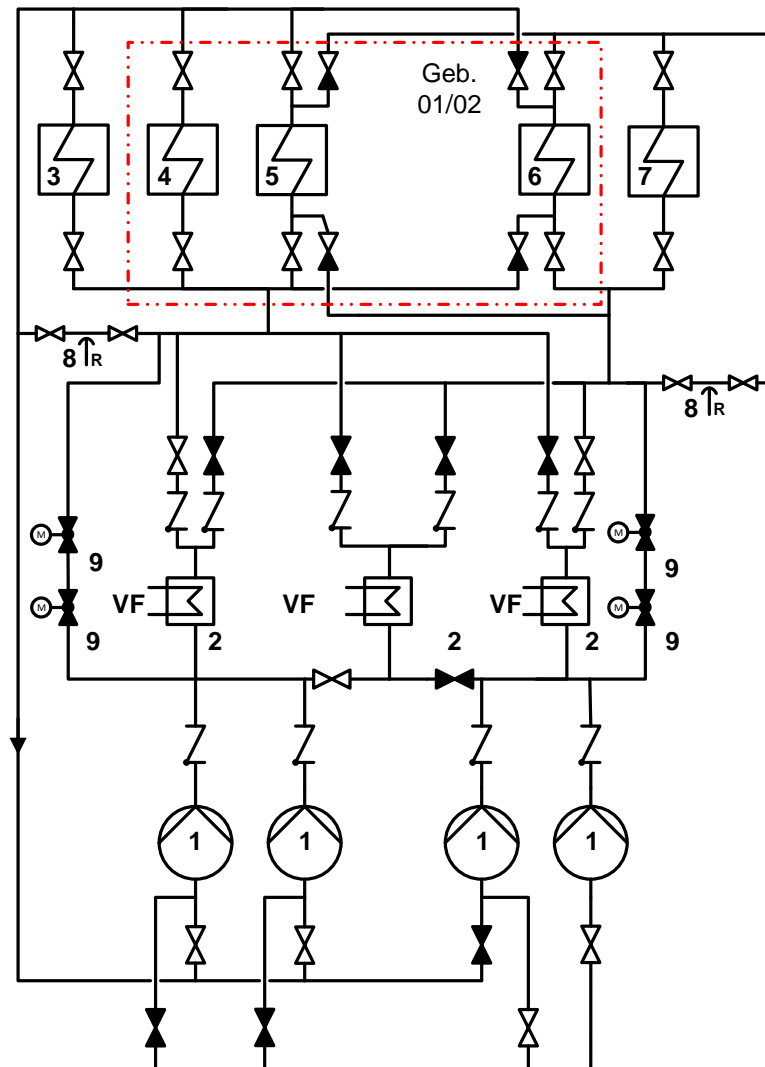
Het TF systeem is niet ontworpen om te functioneren bij invloeden van buitenaf. In geval van het optreden van invloeden van buitenaf vindt de warmteafvoer van de dan benodigde veiligheidsrelevante verbruikers plaats via het reserve nakoelsysteem (TE) die onderdeel uit maakt van de reservekoelketen (zie paragraaf 6.3.5).

6.6.1.2 Systeembeschrijving

Het TF-systeem bestaat uit twee gescheiden strangen. Het systeem bestaat uit pompen, koelers voor warmteopname, koelers voor warmteafvoer, pijpleidingen en afsluiters. Per strang zijn twee nucleaire tussenkoelwaterpompen beschikbaar, die bij uitval van de normale stroomvoorziening van energie worden voorzien door verschillende elektrische redundancies van het noodstroomnet 1.

De koelers van de ene strang van de veiligheidssystemen het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) en het splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG), zijn aangesloten op één TF-strang. Verder zijn hierop de koelers van het volumeregelsysteem (TA), het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB), het reactorgebouw (01/02) en een groot deel van de koelers van het reactorhulpgebouw (03) aangesloten. Deze koelers hebben geen veiligheidsrelevante functie en zijn daarom op één strang aangesloten.

Geb. 03



1	Nucleaire tussenkoelpomp	TC	HOOFDKOELMIDDELREINIGINGS- EN ONTGASSINGSSYSTEEM
2	Nucleaire tussenkoeler	TD	HOOFDKOELMIDDEL OPSLAG- EN REGENERATIESSYSTEEM
3	Koelers bedrijfssystemen geb. 03	TR	RADIOACTIEF AFVALWATERSYSTEEM
4	Koelers bedrijfssystemen geb. 01/02	VF	NOOD- EN NEVENKOELWATERSYSTEEM
5	Koelers veiligheidssystemen red. 1		
6	Koelers veiligheidssystemen red. 2		
7	Koelers systemen TC, TD, TR		
8	Activiteitsmeting		
9	Bypass-regelafsluiter		
		Geb. 01/02	Reactorgebouw
		Geb. 03	Reactorhulpgebouw

Figuur 6.6.1/1 Nucleair tussenkoelwatersysteem TF - principeschema -

De koelers van de andere strang van de veiligheidssystemen TJ en TG zijn aangesloten op de andere TF-strang. Tevens zijn op deze strang de koelers van de koelmiddelontgassing (TC), het radioactief afvalwatersysteem (TR) en de koelmiddelopslag- en regeneratie (TD) aangesloten. Door deze verdeling wordt bereikt dat de warmtebelasting per TF-strang, bij vermogensbedrijf en het in bedrijf zijn van alle koelers, ongeveer gelijk is.

Aan de inlaatzijde van de nucleaire tussenkoelers is een verzamelleiding geïnstalleerd, die het mogelijk maakt de derde nucleaire tussenkoeler op elk van de twee strangen aan te sluiten. Hierdoor kan ten behoeve van onderhoud altijd één nucleaire tussenkoeler uit bedrijf genomen worden. De in een vaste stand staande afsluiters rond de nucleaire tussenkoelpompen en rond de koelers van de veiligheidsrelevante verbruikers zijn in deze stand vergrendeld. Bij verminderde beschikbaarheid van componenten van het TF-systeem kan een koppeling tussen de strangen worden gemaakt teneinde koeling met voldoende zekerheid te waarborgen.

Beide strangen zijn voorzien van een bypass om de tussenkoelers. Hiermee kan de watertemperatuur ingesteld worden. In het geval van een ongeval worden deze bypass-leidingen met twee in serie staande afsluiters gesloten.

Om eventuele lekkage van een nucleair systeem naar het TF-systeem te kunnen onderkennen wordt radioactiviteit in beide kringlopen gemeten.

6.6.1.3 Wijze van bedrijfsvoering

Tijdens vermogensbedrijf van de installatie is het TF-systeem met beide koelstrangen in bedrijf. In de strangen worden naar behoefte één of beide tussenkoelwaterpompen ingezet.

Gedurende noodstroombedrijf worden de niet veiligheidsrelevante systemen afgeschakeld en daarom is minder warmteafvoer via het TF-systeem nodig dan bij normaal bedrijf.

6.6.1.4 Veiligheidsbeschouwing

Het TF-systeem is nodig voor de beheersing van ontwerpgevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De actieve componenten van het TF-systeem nodig voor de beheersing van deze ongevallen voldoen aan dit criterium.

Het TF-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na begin van het ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

De beide strangen van het TF-systeem zijn ruimtelijk van elkaar gescheiden, waardoor falen door een gemeenschappelijke oorzaak wordt beperkt. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het TF-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het TF-systeem is niet ontworpen tegen invloeden van buitenaf.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het TF-systeem zijn functies kan vervullen (zowel op korte als lange termijn) en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.6.1/1 Nucleaire tussenkoelkringloop (TF) met indicatieve componentgegevens

Ontwerpdruk	10	bar
Ontwerptemperatuur	70	°C
Nucleaire tussenkoelpomp		
- aantal	4	
- nominale persdruk	3,4	bar
- nominaal debiet	1200	m ³ /h

6.6.2 Conventioneel tussenkoelwatersysteem (VG)

6.6.2.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het conventioneel tussenkoelwatersysteem (VG) heeft tot taak om de warmte af te voeren van diverse conventionele hulpsystemen. Daarnaast heeft het VG-systeem tot taak om de vrijkomende warmte van de noodvoedingswaterpompen (RL) gedurende ongevallen (waaronder noodstroomsituaties) af te voeren naar het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF).

6.6.2.2 Systeembeschrijving

Het conventionele tussenkoelwatersysteem is een gesloten systeem, gevuld met deminwater. Het systeem is voorzien van twee pompen die het water uit het tussenkoelwaterbassin via een gemeenschappelijke leiding pompen naar twee paar tussenkoelers waar de warmte wordt afgegeven aan het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF). Na de tussenkoelers splitst de verzamelleiding zich in twee leidingen waaruit het gekoelde water wordt verdeeld over de diverse gebruikers. De afvoeren van de verschillende gebruikers komen uit op twee verzamelleidingen die het opgewarmde water terugvoeren naar het tussenkoelwaterbassin waarmee de kringloop is gesloten.

De twee VG-pompen en de benodigde afsluiters voor de koeling van de noodvoedingswaterpompen (RL) zijn aangesloten op noodstroomnet 1.

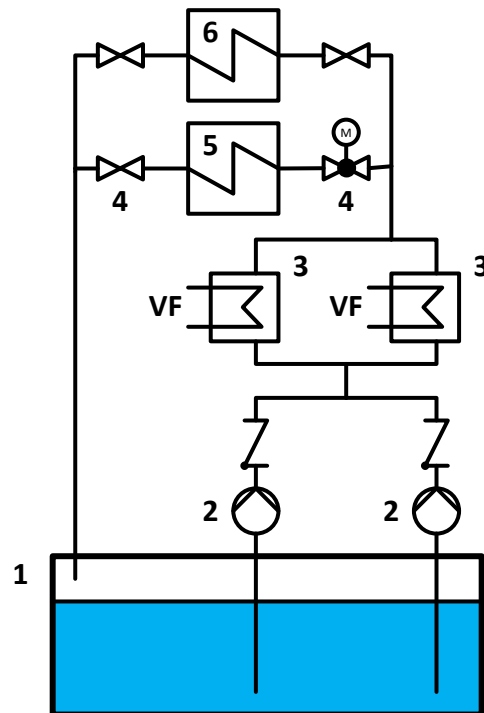
Bij een volledig spanningsloos zijn van de elektrische voedingssystemen, is koeling van de turbine-aangedreven noodvoedingswaterpomp met de VG-koelers mogelijk via het hoger gelegen deminwatervoorraadvat (UK). De voeding van de te bedienen afsluiters is een 24 volt gelijkspanningsrail van noodstroomnet 1.

6.6.2.3 Wijzen van bedrijfsvoering

Tijdens normaal bedrijf verzorgt het VG-systeem de koeling van diverse conventionele hulpsystemen.

Gedurende noodstroomsituaties hoeven alleen de koelers van de noodvoedingswaterpompen (RL) van koelwater te worden voorzien. De tussenkoelwaterpompen (VG) en de noodvoedingswaterpompen (RL) worden automatisch door het reactorbeveiligingssysteem (YZ) ingeschakeld.

Wanneer ook geen noodstroom beschikbaar is ('station blackout') hoeft alleen de turbine-aangedreven noodvoedingswaterpomp van koelwater te worden voorzien. In dat geval zijn de VG-pompen niet beschikbaar en vindt koeling via het VG-leidingsysteem plaats met het bedrijfswatersysteem (UK).



1	Tussenkoelwaterbassin	4	Afsluiter RL-koeling
2	VG-pomp	5	Koelers RL-nood pompen
3	Tussenkoeler	6	Koelers conventionele systemen

Figuur 6.6.2/1 Conventioneel tussenkoelwatersysteem VG - principeschema –

6.6.2.4 Veiligheidsbeschouwing

Een deel van het VG-systeem is nodig voor de beheersing van ontwerpgevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De actieve componenten nodig voor de beheersing van deze ongevallen voldoen aan dit criterium.

Het VG-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen na begin van het ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

De strangen van het VG-systeem zijn niet ruimtelijk gescheiden uitgevoerd. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het VG-systeem tegen interne invloeden aangetoond.

Het VG-systeem is niet ontworpen tegen externe invloeden.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het VG-systeem zijn functies (zowel op korte als lange termijn) kan vervullen en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.6.2/1 Conventioneel tussenkoelwatersysteem (VG) met indicatieve componentgegevens

Ontwerpdruk	7,8	bar
Ontwerptemperatuur	40	°C
Tussenkoelwaterbassin		
- aantal	1	
- inhoud	64	m ³
Tussenkoelwaterpomp		
- aantal	2	
- maximaal debiet	660	m ³ /h
- persdruk	2,8	bar

6.6.3 Nood- en nevenkoelwatersysteem (VF)

6.6.3.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) vormt de laatste schakel in de voor de veiligheid belangrijke nakoelketen. Deze nakoelketen bestaat uit het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) en het nood- en nevenkoelwatersysteem.

Het VF-systeem heeft tot taak de warmte op te nemen en af te voeren van een groot aantal koelers in het conventionele en het nucleaire gedeelte van de kernenergiecentrale tijdens normaal bedrijf en tijdens ongevallen.

Tijdens vermogensbedrijf wordt de warmte van koudwatermachines (UV), het conventionele tussenkoelwatersysteem (VG) en het nucleaire tussenkoelwatersysteem (TF) door het VF-systeem aan de Westerschelde afgegeven.

Om de installatie na een ongeval in een veilige toestand te brengen en te houden, wordt de restwarmte van de gebruikte splijstofelementen in het reactorvat en in het SOB evenals de afvalwarmte van de koudwatermachine en het reserve noodstroomdieselaggregaat via het VF-systeem afgevoerd naar de Westerschelde.

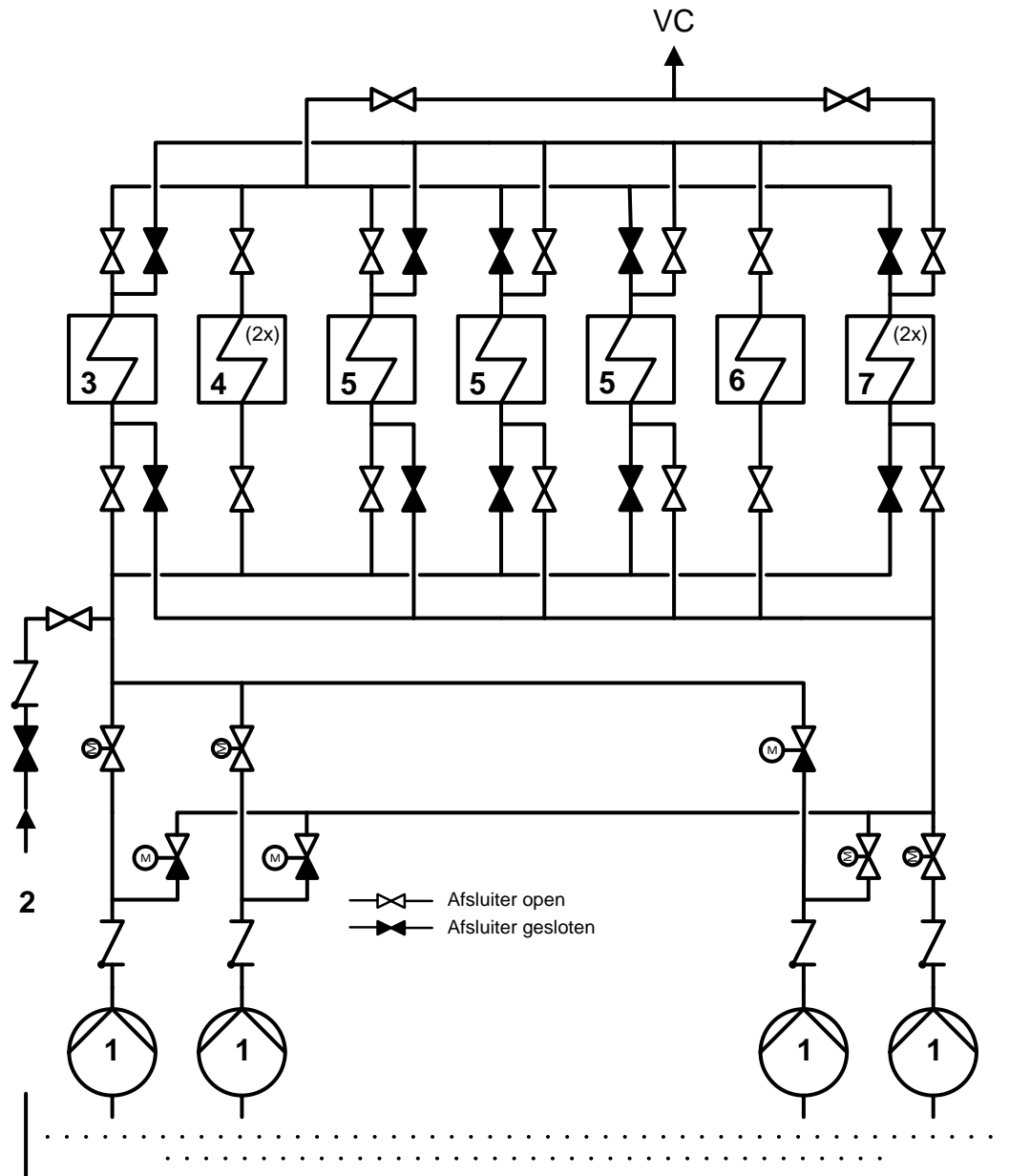
Het VF-systeem is zo ontworpen, dat de vrijkomende warmte bij verschillende bedrijfssituaties en ongevalsituaties kan worden afgevoerd. Het VF-systeem is uitgevoerd in twee gescheiden strangen.

Het VF-systeem is niet ontworpen om te functioneren bij invloeden van buitenaf. In geval van het optreden van invloeden van buitenaf vindt warmteafvoer van de dan benodigde veiligheidsrelevante verbruikers plaats via het reserve noodkoelwatersysteem (VE) die onderdeel uit maakt van de reservekoelketen (zie paragraaf 6.3.6).

6.6.3.2 Systeembeschrijving

Het VF-systeem bestaat uit twee strangen. Elke strang beschikt over twee nood- en nevenkoelwaterpompen, een mosselfilter, leidingwerk en afsluiters. De energievoorziening van de pompen in de strangen wordt bij uitval van de normale stroomvoorziening verzorgd door verschillende elektrische redundanties van het noodstroomnet 1. De nood- en nevenkoelwaterpompen zijn opgesteld in het koelwaterinlaatgebouw. Door de ene strang worden een nucleaire tussenkoeler, een koudwatermachine en twee conventionele tussenkoelers van koelwater voorzien. De andere strang voorziet een nucleaire tussenkoeler, twee koudwatermachines en de koeler van het reserve noodstroomdieselaggregaat van koelwater. Een derde nucleaire tussenkoeler kan indien gewenst naar elk van beide strangen worden geschakeld.

De koeler van het reserve noodstroomdieselaggregaat (EY030) kan eveneens naar keuze aan één van de twee strangen gekoppeld worden. Alle betreffende afsluiters van het VF-systeem zijn zo geschakeld dat de scheiding van de strangen gehandhaafd blijft.



Koelwaterinlaatgebouw (21)

1 Nood- en nevenkoelwaterpomp	6 Koelers reserve
2 Aansluiting brandweerpompen	noodstroomdieselaggregaat
3 Koelers koudwatermachine	7 Koelers koudwatermachines
4 Koelers conventioneel tussenkoelwatersysteem (VG)	
5 Koelers nucleair tussenkoelwatersysteem (TF)	VC HOOFDKOELWATERSYSTEEM

Figuur 6.6.3/1 Nood- en nevenkoelwatersysteem VF - principeschema -

6.6.3.3 Wijze van bedrijfsvoering

Tijdens normaal bedrijf zijn de beide koelwaterstrangen met een ongeveer gelijke warmtebelasting in bedrijf. Per strang is dan één nood- en nevenkoelwaterpomp in bedrijf.

Bij specifieke buiten-ontwerpongevallen met verminderde beschikbaarheid van componenten van het VF-systeem kan de strangenscheiding opgeheven worden, zodat met de combinatie van de twee strangen toch voldoende koeling mogelijk is.

Eén strang kan bovendien van koelwater worden voorzien door middel van een aansluiting voor een mobiele (brandweer)pomp.

6.6.3.4 Veiligheidsbeschouwing

Het VF-systeem is nodig voor de beheersing van ontwerpongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De actieve componenten van het VF-systeem nodig voor de beheersing van deze ongevallen voldoen aan dit criterium.

Het VF-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na begin van het ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

Het VF-systeem is bestand tegen invloeden van binnenuit. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het VF-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het VF-systeem is niet bestand tegen externe invloeden.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het VF-systeem zijn functies (zowel op korte als lange termijn) kan vervullen en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.6.3/1 Nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) met indicatieve component-gegevens

Inlaatzijde bedrijfsdruk	4,9	bar
Bedrijfstemperatuur	21,6	°C
Uitlaatzijde bedrijfsdruk	2,9	bar
Bedrijfstemperatuur	40	°C
Nood- en nevenkoelwaterpompen		
- aantal	4	
- persdruk (bij laag water)	2,1	bar
- debiet (nominaal)	2.100	m ³ /h

6.6.4 Hoofdkoelwatersysteem (VC)

6.6.4.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het hoofdkoelwatersysteem (VC) heeft tot taak de condensors van koelwater te voorzien waarmee de warmte in de stoom afgevoerd kan worden naar de omgeving. Het afgevoerde koelwater wordt gecontroleerd op activiteit. Het VC-systeem heeft daarnaast een passieve functie ten aanzien van aanvoer en afvoer van koelwater voor het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) en afvoer van koelwater voor onder andere het reserve noodkoelwatersysteem (VE).

6.6.4.2 Systeembeschrijving

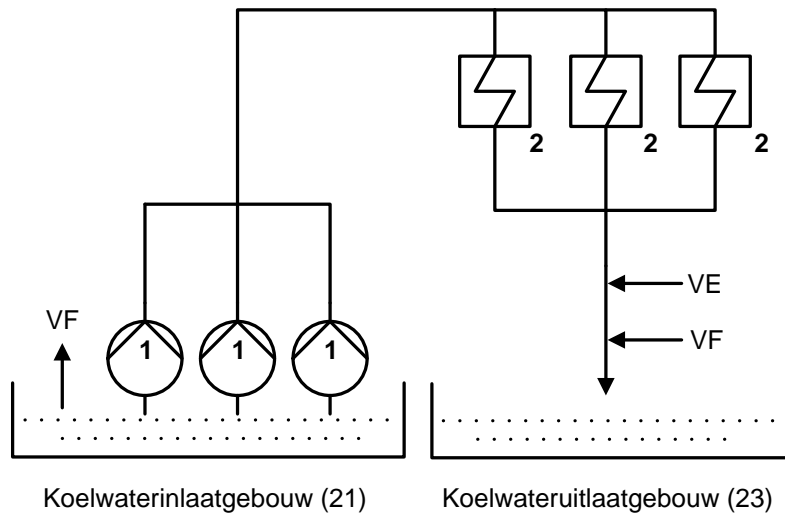
In de condensors wordt de stoom afkomstig van de turbine gecondenseerd tot water. De condensatiewarmte van de afgewerkte stoom wordt voor een belangrijk deel door het hoofdkoelwater afgevoerd naar de Westerschelde. Daartoe wordt het uit de Westerschelde afkomstige koelwater via een koelwatertoevoer naar het koelwaterinlaatgebouw geleid.

In het koelwaterinlaatgebouw wordt het Westerschelde water in drie parallelle strangen door twee achter elkaar geschakelde trappen mechanisch gereinigd.

Na de reinigingstrappen wordt het koelwater via een dwarskanaal naar de hoofdkoelwaterpompen geleid. De drie opgestelde hoofdkoelwaterpompen hebben tot taak de drie turbinecondensors te voeden

Het hoofdkoelwater wordt na de condensors in een verzamelbassin opgevangen en stroomt vandaar via een drempel door de koelwaterafvoer in de Westerschelde terug.

Het hoofdkoelwatersysteem is tussen het koelwaterinlaatgebouw en de koelwaterafvoer als een gesloten systeem uitgevoerd.



- | |
|--|
| 1 Hoofdkoelwaterpompen KCB
2 Turbinecondensoren |
|--|

Figuur 6.6.4/1 Hoofdkoelwatersysteem VC – prinsieschema –

Het veiligheidsrelevante nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) betreft gereinigd koelwater uit koelwaterinlaatgebouw (21) om het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) en het kerninundatie en nakoelsysteem (TJ) te koelen. Bij zeer laag water in de Westerschelde worden de VC-pompen automatisch trapsgewijs afgeschakeld, zodat er koelwater beschikbaar blijft voor de VF-pompen.

Zowel het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) als het reserve noodkoelwatersysteem (VE) maken gebruik van de koelwaterafvoer van het hoofdkoelwatersysteem (VC).

Tabel 6.6.4/1 Hoofdkoelwatersysteem (VC) met indicatieve componentgegevens

Hoofdkoelwaterpompen		
- aantal	3	
- debiet (3 pompen in bedrijf)	63.000	m ³ /h

6.6.5 Volumeregelsysteem (TA)

6.6.5.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het volumeregelsysteem (TA) vormt de schakel tussen het hete, onder hoge druk staande primair systeem en de lagedruksystemen van de reactorhulpinstallaties. Het heeft tot taak:

- de optredende volumeveranderingen in het primair systeem als gevolg van veranderingen van temperatuur en druk van het hoofdkoelmiddel te compenseren;
- voortdurend een gedeelte van het hoofdkoelmiddel te onttrekken voor reiniging en dit vervolgens weer terug te voeren;
- als schakel tussen het chemicaliëndoseersysteem (TB) en het primair systeem de toevoer van boorzuur- respectievelijk deminwaterhoeveelheden en gelijktijdige onttrekking van de corresponderende hoeveelheden hoofdkoelmiddel te verzorgen;
- kleine lekkages in het primair systeem te compenseren;
- hoofdkoelmiddel te leveren voor het sproeien in de drukhouder;
- tijdens een ATWS hoofdkoelmiddel met een hoge boriumconcentratie toe te voeren;
- de hoge-drukasafdichting van de hoofdkoelmiddelpompen te voorzien van sperwater;
- het hoofdkoelmiddel te ontluchten;
- met behulp van een volumeregelpomp druktesten uit te voeren in het primair systeem.

Iedere aansluiting van het TA-systeem op het primair systeem is in principe voorzien van een dubbele afsluiting.

Het TA-systeem is niet ontworpen om te functioneren bij invloeden van buitenaf, maar de aansluitingen van het TA-systeem op het reactorkoel- en drukhoudsysteem zijn ten behoeve van de integriteit van dit systeem wel bestand tegen invloeden van buitenaf.

6.6.5.2 Systeembeschrijving

Op elk van de twee kringlopen van het primair systeem is tussen het reactorvat en de stoomgenerator de aftapleiding van het volumeregelsysteem aangesloten.

Binnen de veiligheidsomhulling voert de aftapleiding respectievelijk naar een recuperatieve warmtewisselaar, een HD-koeler en een HD-reduceerstation. Voorbij het HD-reduceerstation worden beide strangen weer samengevoegd tot één gemeenschappelijke leiding.

Vervolgens is in de ringruimte (02) via het LD-reduceerstation een voedingsaansluiting op het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) gerealiseerd. Deze aansluiting dient om het hoofdkoelmiddel ook tijdens het nakoelbedrijf te kunnen reinigen en ontgassen. In het reactorhulpgebouw (03) wordt het hoofdkoelmiddel via het hoofdkoelmiddelreinigungs- en ontgassingssysteem (TC) en de volumeregeltank verder geleid. Voorts bevinden zich in dit gebouw ook de aftap- en/of toevoeraansluitingen van het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB), het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD) en het nucleair monsternamesysteem (TV).

In de volumeregeltank wordt het overschot aan hoofdkoelmiddel opgeslagen, dat ontstaat als gevolg van door de temperatuur veroorzaakte veranderingen in de specifieke massa. Bij een te hoge waterstand in de tank wordt hoofdkoelmiddel naar de hoofdkoelmiddelbereidingsinstallatie

(TD) afgevoerd. Vanuit het TD-systeem wordt bij een laag niveau in de volumeregeltank geboreerd hoofdkoelmiddel toegevoerd, om geringe hoofdkoelmiddeltekorten in het primair systeem te kunnen compenseren.

Vanuit de volumeregeltank voeren maximaal twee van de drie parallel geschakelde volumeregelpompen via de beide recuperatieve warmtewisselaars hoofdkoelmiddel naar de hoofdkoelmiddelleidingen tussen hoofdkoelmiddelpomp en reactor. Aan de perszijde van de volumeregelpompen bevinden zich tevens aansluitingen voor de sproeiers van de drukhouder en voor de smering en koeling van de afdichtingen van de hoofdkoelmiddelpompen (sperwater). Bij een storing in de persstrang kan gebruik gemaakt worden van de noodpersstrang. Via de noodpersstrang kan hoofdkoelmiddel met behulp van de volumeregelpompen rechtstreeks naar het primaire systeem of de drukhouder worden gevoerd.

Het volumeregelsysteem wordt door het noodstroomnet 1 gevoed.

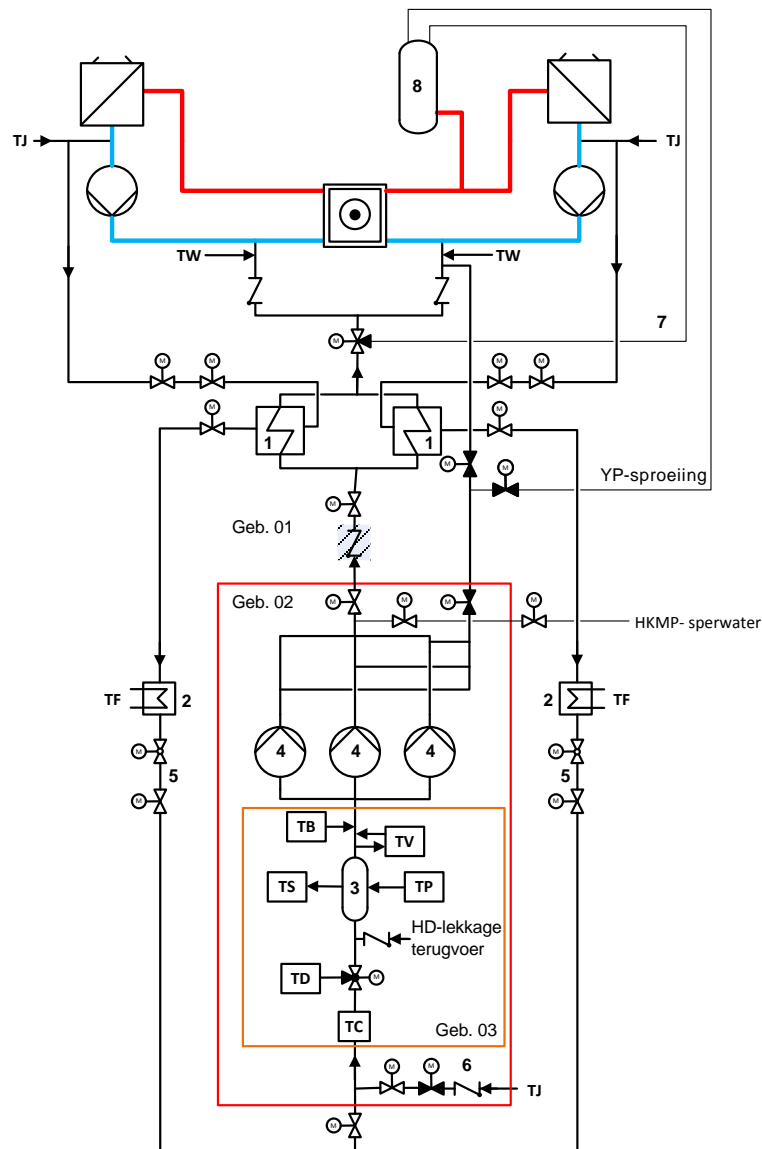
6.6.5.3 Wijze van bedrijfsvoering

Tijdens normaal bedrijf werkt het volumeregelsysteem geheel automatisch en is één van de drie volumeregelpompen toereikend voor de terugvoer van hoofdkoelmiddel naar het primair systeem en de sperwatervoorziening van de hoofdkoelmiddelpompen. Er kan echter ook met twee volumeregelpompen bedrijf worden gevoerd. Een tweede volumeregelpomp wordt bijvoorbeeld in bedrijf genomen om:

bij uitbedrijfname te beschikken over een grotere chemische reinigingscapaciteit.

Bij storingen en ongevallen kan de tweede volumeregelpomp automatisch in bedrijf worden genomen, bijvoorbeeld om:

- na een lek in een U-pijp van een stoomgenerator de primaire druk zo snel mogelijk omlaag te brengen door sproeien in de drukhouder;
- bij het optreden van een ATWS koelmiddel met een hoge boriumconcentratie snel aan het primair systeem toe te kunnen voeren;
- voldoende hoofdkoelmiddel vanuit de hoofdkoelmiddelbereidingsinstallatie (TD) toe te voeren aan het primair systeem om kleine lekkages te kunnen compenseren.



- 1 Recuperatieve warmtewisselaar
- 2 HD-koeler
- 3 Volumeregeltank
- 4 Volumeregelpompen
- 5 HD-reduceerstation
- 6 LD-reduceerstation
- 7 Noodpersstrang
- 8 Drukhouder

- TD HOOFDKOELMIDDELOPSLAG- EN REGENERATIESYSTEEM
- TJ KERNINUNDATIE- EN NAKOELSYSTEEM
- TP GAS- EN LUCHTVERZORGINGSSYSTEEM
- TS RADIOACTIEF AFGASSYSTEEM
- TV NUCLEAIR MONSTERNAME SYSTEEM
- TW PRIMAIR RESERVE SUPPLETIESYSTEEM
- YP DRUKHOUDSYSTEEM

- TA VOLUMEREGELSYSTEEM
- TB NUCL CHEMICALIENDOSEERSYSTEEM
- TC HOOFDKOELMIDDELREINIGINGS- EN ONTGASSINGSSYSTEEM

- Geb.01 Veiligheidsomhulling
- Geb.02 Ringruimte
- Geb.03 Reactorhulpgebouw

Figuur 6.6.5/1 Volumeregelsysteem TA - prinsieschema –

6.6.5.4 Veiligheidsbeschouwing

Het TA-systeem is nodig voor de beheersing van ontwerpgevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De actieve componenten die nodig zijn voor de beheersing van deze ongevallen voldoen aan dit criterium.

Het TA-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na het begin van het ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

Het TA-systeem is bestand tegen invloeden van binnenuit. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het TA-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het TA-systeem is niet ontworpen tegen invloeden van buitenaf. De aansluitingen van het TA-systeem op het reactorkoel- en drukhoudsysteem zijn wel bestand tegen invloeden van buitenaf ten behoeve van de integriteit van dit systeem.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het TA-systeem zijn functies (zowel op korte als lange termijn) kan vervullen en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.

Tabel 6.6.5/1 Volumeregelsysteem (TA) met indicatieve componentgegevens

Volumeregelpomp		
- aantal	3	
- debiet	16	m ³ /h
Volumeregeltank		
- aantal	1	
- volume	15	m ³
Recuperatieve warmtewisselaar		
- aantal	2	
- vermogen (maximaal)	3,2	MW
- koelmiddeltemperatuur inlaat/uitlaat	295/120	°C
HD-koeler		
- aantal	2	
- vermogen (maximaal)	2,5	MW
- koelmiddeltemperatuur inlaat/uitlaat	120/50	°C
Reduceerstation		
- aantal HD	2	
- aantal LD	1	

6.6.6 Nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB)

6.6.6.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Dit systeem heeft tot taak door boorzuur en deminwater toe te voeren, geleidelijke reactiviteitsveranderingen te compenseren en tevens het primair systeem, het splijtstofopslagbassin (SOB) en diverse tanks/vaten te vullen.

In detail gaat het hierbij om de volgende taken:

- tijdens een ATWS het toevoeren van boorzuur met een hoge boriumconcentratie naar het volumeregelsysteem (TA), om de reactor af te schakelen;
- het toevoeren naar het volumeregelsysteem (TA) van boorzuur uit de eigen boorzuur tanks of deminwater of hoofdkoelmiddel uit het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD). Dit gebeurt als er hoofdkoelmiddel gesuppleerd moet worden, of als de boriumconcentratie in het primair systeem veranderd moet worden. Hiertoe dient voldoende boorzuur opgeslagen en gereed gehouden te worden (door middel van het terugwinnen van boorzuur tijdens de hoofdkoelmiddelbereiding, respectievelijk het nieuw aanmaken van boorzuur);
- het toevoeren van boorzuur of geboreerd water naar de kerninundatievoorradetanks en de kerninundatiebuffertanks van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), het SOB en de primaire reservesuppletiebassins (TW);
- het toevoegen van corrosieremmende middelen en het instellen van de pH-waarde.

De boorzuurvoorraad is groot genoeg om aan het eind van een cyclus de boriumconcentratie van het hoofdkoelmiddel te verhogen tot de voor een splijtstofwisseling vereiste boriumconcentratie³. Het systeem betreft boorzuur uit het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD). Dit boorzuur wordt opgeslagen en samen met het deminwater teruggevoerd via het TA-systeem naar het primair systeem. Voor dit doel zijn er twee parallelle doseertrajecten voorhanden, elk met een doseercapaciteit van 100 %, die de volumeregelpompen (TA) aan de zuigzijde voeden.

6.6.6.2 Systeembeschrijving

Het TB-systeem bestaat uit de volgende onderdelen:

- boorzuraanmaaksysteem;
- deminwaterdoseringsysteem;
- boorzurdoseringsysteem;
- chemicaliënaanmaak en -doseringsysteem;
- chemicaliëndoseringsysteem in het reservesuppletiegebouw (33).

Vanuit de boorzuraanmaaktank voedt de boorzurtoevoerpomp het TA-systeem en het TJ-systeem. Tevens wordt de aanvulling van verliezen en compensatie van de B-10 versplijting, alsook de toevoer van niet-radioactief boorzuur (bijvoorbeeld om het SOB te vullen) op deze wijze verzorgd.

Om kristallisatie van boorzuur te voorkomen, zijn alle koude, met boorzuur in contact komende, leidingen en onderdelen voorzien van een door noodstroom gevoede

³ Bij het gebruik van MOX als splijtstof wordt verrijkt borium gebruikt om de vereiste waarde te bereiken.

verwarming (tracing). Indien er daarnaast als extra bescherming tegen kristallisatie geen circulatiemogelijkheden binnen het systeem aanwezig zijn, dan is de tracing dubbel uitgevoerd.

Corrosieremmende middelen en middelen om de pH-waarde te regelen worden in de chemicaliënaanmaaktank gemengd en door de chemicaliëndoseerpomp naar het TA-systeem geleid.

6.6.6.3 Wijze van bedrijfsvoering

Tijdens normaal bedrijf kan met het TB-systeem boorzuur gedoseerd worden. Als er geen boorzuur wordt gedoseerd, wordt het boorzuur met één of twee boorzurdoseerpompen rondgepompt (circulatiebedrijf). Tijdens het opstarten van de reactor worden chemicaliën gedoseerd. Bediening van het TB-systeem vindt plaats vanuit de regelzaal met uitzondering van het chemicaliëndoseersysteem in het reservesuppletiegebouw (33).

Ten behoeve van de beheersing van een ATWS dient er op het moment van kritisch maken van de reactor een minimale verpompbare hoeveelheid boorzuur aanwezig te zijn.

6.6.6.4 Veiligheidsbeschouwing

Het TB-systeem is nodig voor de beheersing van ontwerpgevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. De actieve componenten van het deel van het TB-systeem, nodig voor de toevoer van boorzuur aan het primair systeem via het TA-systeem, voldoen aan dit criterium.

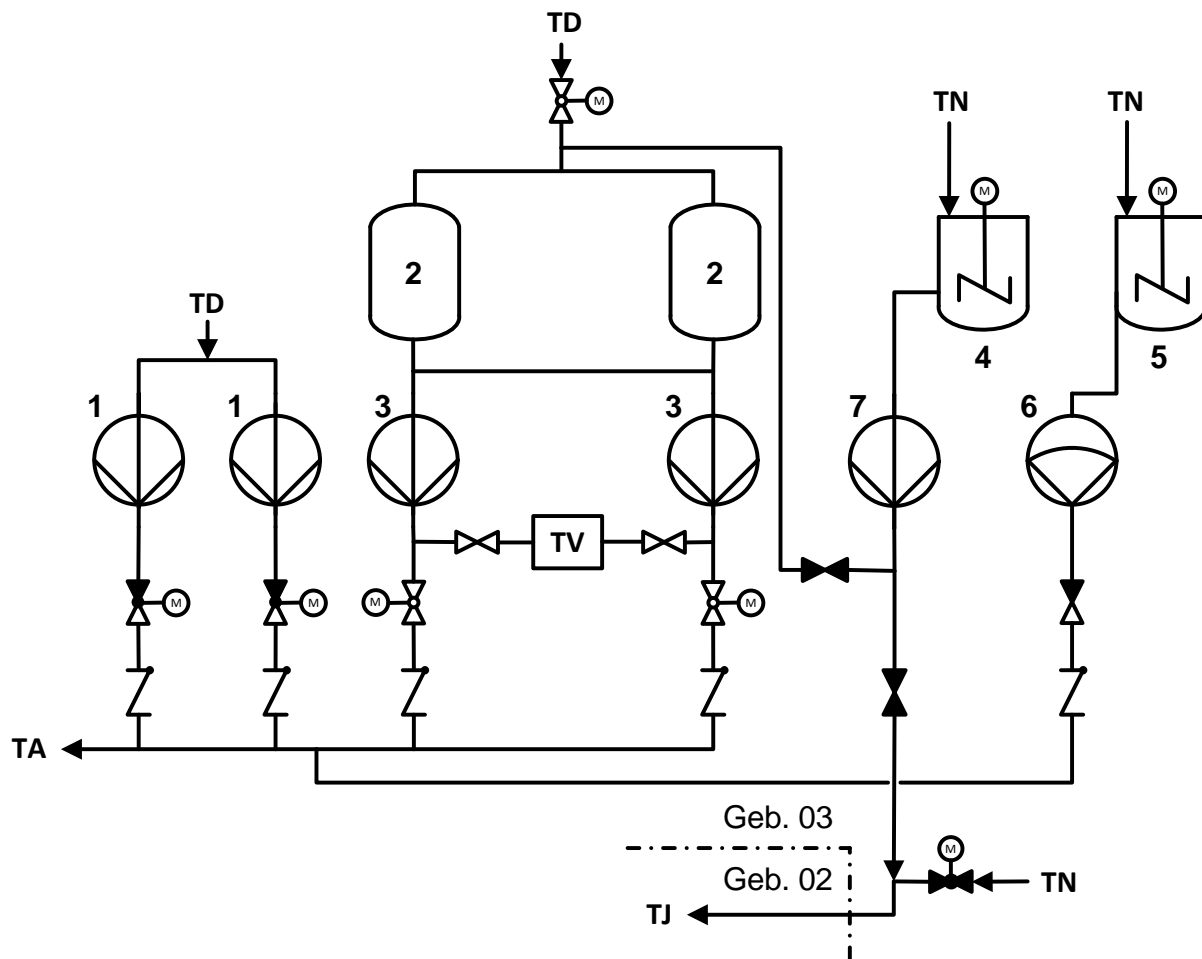
De strangen van het boorzurdoseringssysteem en het deminwaterdoseringssysteem zijn niet ruimtelijke gescheiding met uitzondering van de deminwaterterugvoerpompen.

Het TB-systeem is zodanig ontworpen en geautomatiseerd dat voor de beheersing van ontwerp-ongevallen gedurende 30 minuten na begin van het ongeval geen menselijke handelingen nodig zijn.

Het TB-systeem is bestand tegen invloeden van binnenuit. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het TB-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Het TB-systeem is niet ontworpen tegen invloeden van buitenaf.

In paragraaf 7.1 is aangetoond dat het TB-systeem zijn functies (zowel op korte als lange termijn) kan vervullen en dat de veronderstelde ontwerp-ongevallen beheerst kunnen worden.



1	Deminwaterterugvoer pomp	TA	VOLUMEREGELSYSTEEM
2	Boorzuurvoorraadtank	TD	HOOFDKOELMIDDELOPSLAG- EN REGENERATIESYSTEEM
3	Boorzurdoseerpomp	TJ	KERNINUNDATIE- EN NAKOELSYSTEEM
4	Boorzuraanmaaktank	TN	WATER EN STOOMVERZORGINGSSYSTEEM
5	Chemicaliënaanmaaktank	TV	NUCLEAIR MONSTERNAMESYSTEEM
6	Chemicaliëndoseerpomp	Geb.02	Ringruimte
7	Boorzurtoevoerpomp	Geb.03	Reactorhulpgebouw

Figuur 6.6.6/1 Nucleair chemicaliëndoseersysteem TB - principeschema –

Tabel 6.6.6/1 Nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) met indicatieve componentgegevens

Concentratie van het opgeslagen boorzuur	12	%
Samenstelling van het toegepaste borium:		
- natuurlijk borium	19,78	% B-10
	80,22	% B-11
- verrijkt borium	32	% B-10
	68	% B-11
Kristallisatietemperatuur (globaal)	58 °C	
Boreertempo in het primair systeem (één boorzuurvoedingsstrang in bedrijf)	400	ppm/h
Booronttrekkingstempo (één deminwaterafvoerpomp in bedrijf)	60	ppm/h
Boorzuurtank		
- aantal	2	
- netto inhoud	12,5	m ³
- ontwerp overdruk	3	bar
Boorzuraanmaaktank		
- aantal	1	
- netto-inhoud	3,5	m ³
Chemicaliënaanmaaktank		
- aantal	1	
- netto-inhoud	0,2	m ³
Boorzurdoseerpomp		
- aantal	2	
- nominale capaciteit	2,2	kg/s
Boorzuraanmaakpomp		
- aantal	1	
- nominale capaciteit	3,3	kg/s
Deminwaterterugvoerpomp		
- aantal	2	
- nominale capaciteit	8,9	kg/s
Chemicaliëndoseerpomp		
- aantal	1	
- nominale capaciteit	0,06	kg/s

6.6.7 Hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC)

6.6.7.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

De door corrosie veroorzaakte verontreiniging van het hoofdkoelmiddel in de vorm van vaste stoffen en ionen en de vrijkomende splijtings- en activeringsproducten, worden door het hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) verwijderd om de radioactiviteit van het hoofdkoelmiddel zo laag mogelijk te houden.

Bovendien kan door ontgassing de radioactiviteit van het splijtingsgas uit het hoofdkoelmiddel op een laag niveau gebracht worden. Hiermee wordt voorkomen dat gasvormige splijtingsproducten vrijkomen, wanneer het primair systeem geopend wordt (bijvoorbeeld tijdens een splijststofwisseling of bij reparaties).

6.6.7.2 Systeembeschrijving

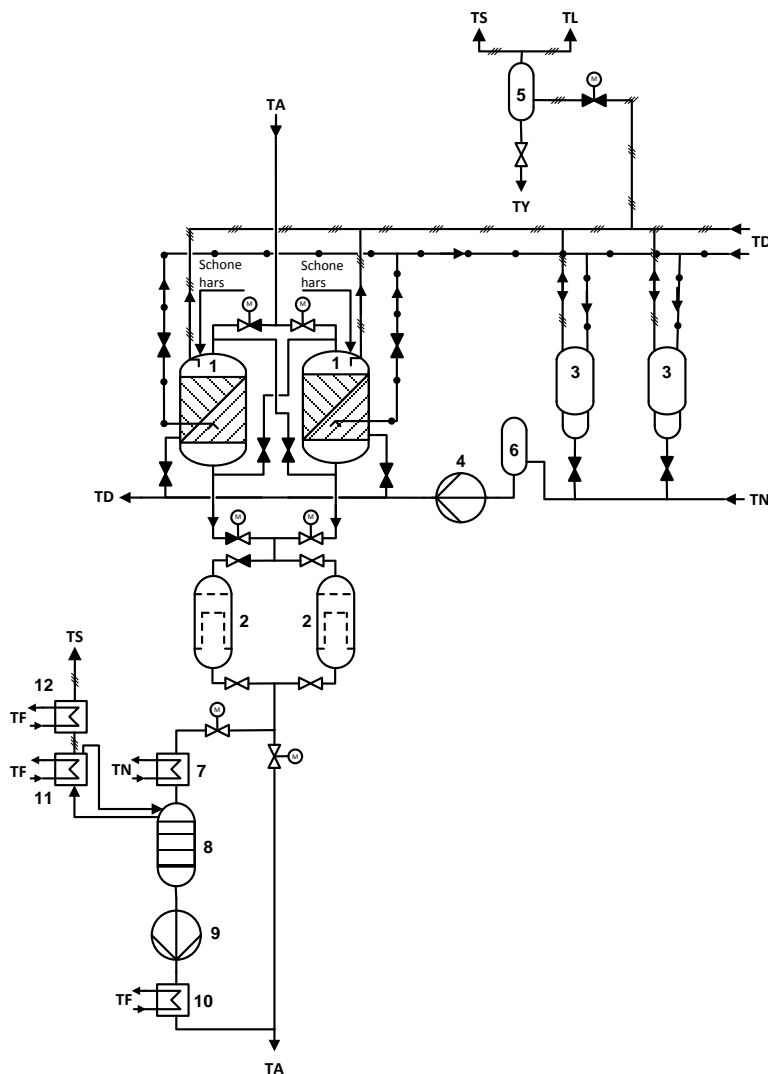
Het hoofdkoelmiddel wordt aan het volumeregelsysteem (TA) onttrokken en na reiniging weer teruggevoerd. De reiniging geschiedt door twee, afwisselend in serie of parallel geschakelde mengbedfilters waarin de verontreinigingen van het hoofdkoelmiddel worden tegenhouden. Om afgesleten harsdeeltjes uit de mengbedfilters af te vangen zijn twee harsvangers geplaatst.

Verzadigde hars uit de mengbedfilters wordt door de harsspoelpomp met deminwater vanuit het water- en stoomverzorgingssysteem (TN) naar de harsafvalopslagtank gevoerd en daar opgeslagen. Van daaruit vindt afvoer naar het radioactief vast afvalstelsel (TT) plaats. Ook uitgewerkte harsen van de TD-mengbedfilters worden afgevoerd naar de harsafval tanks van TC.

Nieuwe hars voor de mengbedfilters wordt direct via de harsvulopening ingebracht en door het inblazen van stikstof vermengd.

Na de mengbedfilters wordt het hoofdkoelmiddel desgewenst thermisch ontgast in een door stoom verwarmde ontgasser, die uit een voorwarmer en een ontgasserkolom bestaat. De gassen die vrijkomen worden door de condensor en gaskoeler geleid en vervolgens naar het radioactief afgassysteem (TS) gevoerd. Indien in de ontluchting van de mengbedfilters alleen niet radioactieve lucht of stikstof aanwezig is, kan omgeschakeld worden naar het nucleair ventilatiesysteem (TL). De afvoer van het overloopvat van de ontluchting van de mengbedfilters voert naar het installatieontwaterings- en ontluchtingsstelsel (TY).

Na de ontgassing wordt het hoofdkoelmiddel door de ontgasserafvoerpomp naar de nakoeler en tenslotte naar het volumeregelsysteem (TA) geleid.


Koelmiddelreiniging

- 1 Mengbedfilter
- 2 Harsvanger
- 3 Harsafvalopslagtank
- 4 Harsspoelpomp
- 5 Ontluchtingstank
- 6 Buffervat

Koelmiddelontgassing

- 7 Voorwarmer
- 8 Ontgasserkolom
- 9 Ontgasserafvoer pomp
- 10 Nakoeler
- 11 Condensator
- 12 Gaskoeler

- TA VOLUMEREGELSYSTEEM
- TD HOOFDKOELMIDDELOPSLAG- EN REGENERATIESYSTEEM
- TF NUCLEAIR TUSSENKOELWATERSYSTEEM
- TL NUCLEAIR VENTILATIESYSTEEM
- TN WATER- EN STOOMVERZORGINGSSYSTEEM
- TS RADIOACTIEF AFGASSYSTEEM
- TT RADIOACTIEF VAST AFVALSYSTEEM
- TY INSTALLATIEONTWATERINGS- EN ONTLUCHTINGSSYSTEEM

Figuur 6.6.7/1 Hoofdkoelmiddelreinigungs- en ontgassingssysteem (TC) - principeschema -

Tabel 6.6.7/1 Hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) met indicatieve componentgegevens

Zuiveringstempo van het hoofdkoelmiddel		
- maximaal	32	m ³ /h
- normaal		16 m ³ /h
Mengbedfilters		
- aantal	2	
- volume	1,4	m ³
Harsvangers		
- aantal	2	
- filterfijnheid	4,5	µm
Ontgasser		
- doorstroomhoeveelheid (max.)	32	m ³ /h
- ontwerpdruk	11,8	bar
- ontwerptemperatuur	200	°C

6.6.8 Hoofdkoelmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD)

6.6.8.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

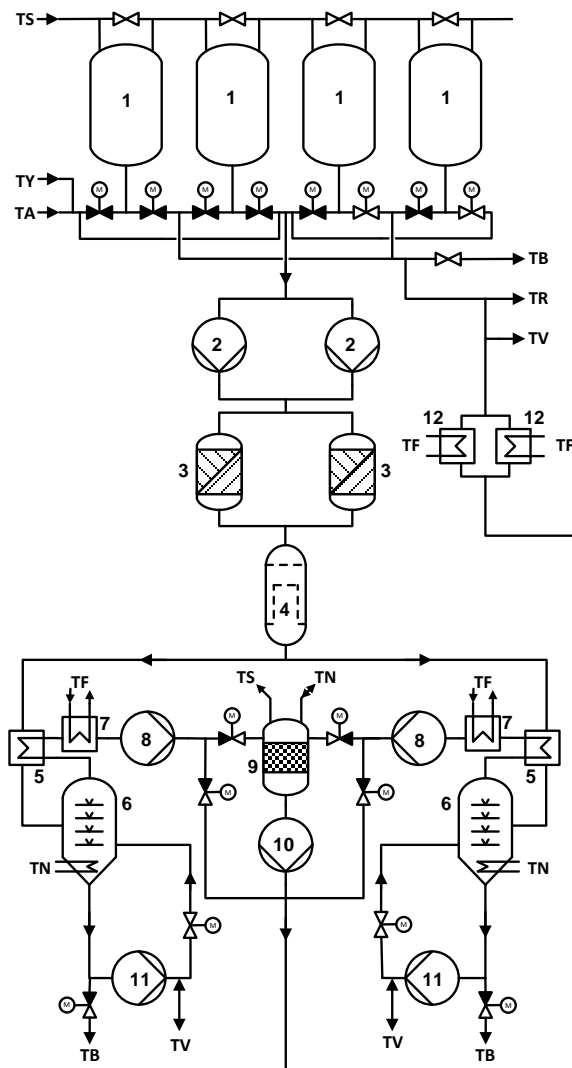
Het hoofdkoelmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD) heeft tot taak:

- hoofdkoelmiddel tijdelijk op te slaan dat vrijkomt tijdens het opstarten, bij belastingsveranderingen, door compensatie van de versplijting, bij het aftappen van de installatie of door het aanspreken van veiligheidskleppen,;
- het hoofdkoelmiddel te scheiden in deminwater en boorzuur;
- het deminwater tijdelijk op te slaan;
- het hoofdkoelmiddel en het deminwater te ontgassen.

6.6.8.2 Systeembeschrijving

Het TD-systeem wordt door het volumeregelsysteem (TA) gevoed en slaat het hoofdkoelmiddel tijdelijk op in hoofdkoelmiddelreservoirs. Het water van het installatie ontwateringssysteem (TY) wordt eveneens naar de hoofdkoelmiddelopslagtanks gepompt. De bovenzijde van de opslagtanks is aangesloten op het radioactief afgassysteem (TS), zodat er in de opslagtanks een onderdruk heerst.

Vanuit de hoofdkoelmiddelreservoirs wordt het hoofdkoelmiddel door de verdampervoedingspompen via de mengbedfilters en de harsvangers naar de verdamper geleid en daar gescheiden in deminwater en boorzuur. Na het bereiken van een bepaalde concentratie wordt het boorzuur, na afkoeling in de nakoelers, aan het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) afgegeven. Het deminwater wordt opgeslagen in de hoofdkoelmiddelreservoirs tot het weer gebruikt moet worden of het wordt na ontgassing afgevoerd naar het radioactief afvalwatersysteem (TR). Het TD-systeem is verbonden met het monsternamesysteem (TV) in circulatieleiding van de verdamper en na de ontgasser.



1	Hoofdkoelmiddelopslagtank	TA	VOLUMEREGELSYSTEEM
2	Verdampervoedingspomp	TB	NUCLEAIR CHEMICALIENDOSEERSYSTEEM
3	Mengbedfilter	TC	HKM-REINIGINGS- EN ONTGASSINGSSYSTEEM
4	Harsvanger	TF	NUCLEAIR TUSSENKOELWATERSYSTEEM
5	Voorwarmer	TN	WATER- EN STOOMVERZORGINGSSYSTEEM
6	Verdamper	TR	RADIOACTIEF AFVALWATERSYSTEEM
7	Condensor	TS	RADIOACTIEF AFGASSYSTEEM
8	Condensaatpomp	TV	NUCLEAIR MONTERSNAMESSYSTEEM
9	Ontgasser	TY	ONSTALLATIEONTWATERINGS- EN ONTLUCHTINGSSYSTEEM
10	Ontgasserafvoerpomp		
11	Boorzuurcirculatiepomp		
12	Nakoeler		

Figuur 6.6.8/1 Koelmiddelopslag- en regeneratiesysteem TD - principeschema –

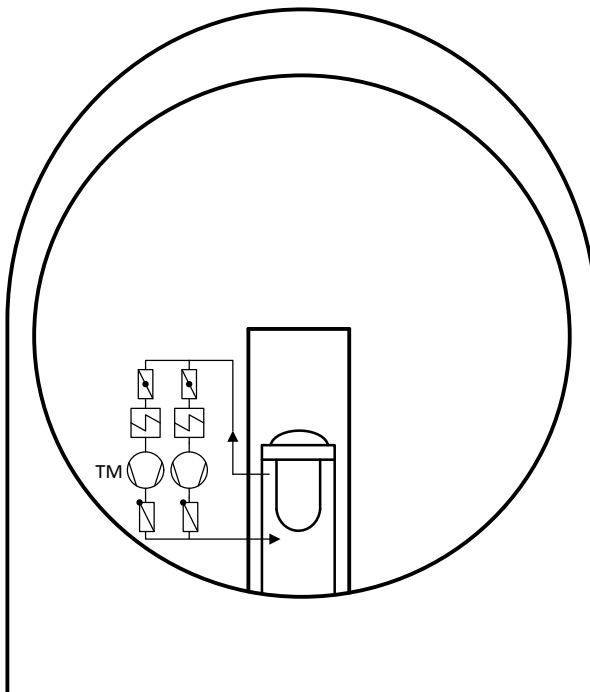
Tabel 6.6.8/1 Koelmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD) met indicatieve componentgegevens

Hoofdkoelmiddelopslagtank		
- aantal	4	
- volume (bruto)	140	m ³
- ontwerpdruk	5,9	bar
- ontwerptemperatuur	90	°C
Verdampervoedingspomp		
- aantal	2	bar
- debiet	15	m ³ /h
Verdampereenheid		
- aantal	2	
- capaciteit	4	m ³ /h
- bedrijfstemperatuur	102	°C

6.6.9 Koelsysteem van het biologisch schild (TM)

6.6.9.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het koelsysteem van het biologisch schild (TM) zorgt voor de afvoer van de door de reactor in het biologisch schild door thermische-, neutronen- en gammastraling opgewekte warmte, om zo het opwarmen van het beton en de hierdoor veroorzaakte spanningen in het beton binnen de toelaatbare grenzen te houden.



Figuur 6.6.9/1 Koelsysteem van het biologisch schild TM - prinsieschema -

6.6.9.2 Systeembeschrijving

Het reactorvat is omgeven door het biologisch schild van gewapend beton. De lucht in de ringvormige ruimte tussen het reactorvat en het biologisch schild wordt door het TM-systeem voortdurend rondgepompt en gekoeld. Daartoe wordt de opgewarmde lucht bovenin de tussenruimte afgezogen, door een luchtkoeler geleid en door een ventilator weer in de tussenruimte onder het reactorvat geblazen. Er zijn twee ventilatoren en twee koelers aanwezig. Eén ventilator en de bijbehorende luchtkoeler dienen als reserve en worden indien nodig automatisch ingeschakeld. De warmte in de TM-koelers wordt afgevoerd met het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF). De installaties zijn aangesloten op het noodstroomnet 1. Alle afzonderlijke delen van het TM-systeem van het biologisch schild zijn gelast of met schroeven luchtdicht aan elkaar bevestigd.

Tabel 6.6.9/1 Koelsysteem van het biologisch schild (TM) met indicatieve componentgegevens

Capaciteit		
- per ventilator	20000	m ³ /h
- ventilatoren	2 x 100	%

6.6.10 Water- en stoomverzorgingssysteem (TN)

6.6.10.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het water- en stoomverzorgingssysteem (TN) heeft tot taak verschillende systemen te voorzien van water en/of stoom. Het systeem bestaat uit een vijftal onderdelen.

Deminwatersysteem (TN010-020)

Het deminwatersysteem heeft als taak om systemen in het gecontroleerd gebied te voorzien van gedemineraliseerd water. Dit water wordt gebruikt voor het (bij)vullen van leidingen en tanks, het spoelen van filters, tanks en pompen, het decontamineren van gereedschappen en delen van de installatie en als sperwater voor verscheidene pompen. Het deminwater wordt betrokken uit de deminwatersuppletiebassins (RZ).

Koudwatersysteem (TN030-040)

Het koudwatersysteem heeft als taak de luchtkoelers van het nucleair ventilatiesysteem (TL), het radioactief afgassysteem (TS) en verscheidene hulpsystemen te voorzien van koelwater.

Warmwatersysteem (TN050)

Het warmwatersysteem heeft als taak de luchtverhitters van het TL-systeem en de gasverhitter van het TS-systeem te voorzien van warm water.

Activiteitsmeting stoomgeneratorspui (TN060)

De activiteitsmeting van het water van de stoomgeneratorspui (RY) heeft als taak een lekkage van een stoomgeneratorpijp te detecteren. Bij overschrijding van een grenswaarde van de activiteit in het spuiwater wordt de stoomgeneratorspui automatisch afgesloten.

Stoomverwarmingssysteem (TN070-TN090)

Het stoomverwarmingssysteem heeft als taak om verwarmingsstoom aan verschillende hulpsystemen toe te voeren en daarbij het gevormde condensaat af te voeren. Ook het bevochtigen van toevoerlucht van de laboratoria met behulp van stoom en het toevoeren van stoom voor decontaminatie in de daarvoor bestemde ruimten behoort tot de taken.

6.6.10.2 Systeembeschrijving

Deminwater wordt vanuit de deminwatersuppletiebassins betrokken en met de deminwatersuppletiepompen naar de deminwaterheader gepompt. Hier splitst het TN010-020 systeem zich in drie strangen, die elk een specifieke taak hebben; een strang voor sperwater (sperwaterstrang), een strang voor vaste verbruikers en een strang voor slangaansluitingen voor het spoelen van componenten.

Het koudwatersysteem (TN030-040) bestaat uit een kringloop die het koude water ontvangt van het koudwatersysteem (UV) en het opgewarmde water ook weer terugvoert naar UV-systeem.

Het warmwatersysteem TN050 bestaat uit een kringloop die het warme water ontvangt van het verwarmings- en ventilatiesysteem (UW) en het afgekoelde water weer terugvoert naar het UW-systeem. Op het TN050 systeem zijn een TS-verhitter en TL-verhitters aangesloten.

Het TN060-systeem bestaat uit twee strangen die ieder afkomstig zijn van een stoomgenerator. Via de spuileiding kan een hoeveelheid spuiwater aan de secundaire zijde van een stoomgenerator worden afgenomen. Per strang bestaat het TN060-systeem uit een koeler, een activiteitsmeting, meetleidingen en afsluiters. De toevoerafsluiter is aardbevingsbestendig uitgevoerd, waardoor lekkage uit de stoomgeneratoren via het TN060-systeem wordt voorkomen.

Het stoomverwarmingssysteem TN070-TN090 onttrekt stoom aan het hulpstoomsysteem (RQ).

6.6.11 Persluchtsysteem (TP050-080)

6.6.11.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het persluchtsysteem (TP050-080) heeft tot taak het persluchtnet van de centrale te voeden en de perslucht te leveren die nodig is voor de bediening van kleppen van de ventilatiesystemen, pneumatische ventielen en regelkleppen van de reactorinstallatie alsmede het openen van de explosieluiken (ZB).

6.6.11.2 Systeembeschrijving

Het persluchtvoorzieningssysteem wordt gevoed door vier hoofdcompressoren van het conventioneel persluchtsysteem (US) die geplaatst zijn in noodstroomdieselgebouw 10.

Aangezien de hoofdcompressoren geen noodstroomvoorziening hebben, maar verschillende verbruikers wèl altijd moeten kunnen beschikken over perslucht, is er nog een noodcompressor in de ringruimte (02) opgesteld, die door het noodstroomnet 1 wordt gevoed.

Wanneer vanuit het reactorbeveiligingssysteem (YZ) het signaal "Algemene gebouwfsluiting" gegeven wordt dan sluit automatisch de afsluiter van het persluchtsysteem in de ingaande leiding naar de veiligheidsomhulling.

6.6.12 Monsternamesysteem (TV)

6.6.12.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het monsternamesysteem (TV) maakt het nemen van watermonsters mogelijk voor de controle van het hoofdkoelmiddel en het neemt gasmonsters uit de afgassenstroom en voert deze gecontroleerd af naar de verwerkingsinstallaties.

6.6.12.2 Systeembeschrijving

De watermonsters uit het primair systeem, het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) het hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) en het volumeregelsysteem (TA) worden centraal in de monsternameruimte in het reactorhulpgebouw (03) genomen. Voor andere hulpsystemen zijn lokale monsternamepunten aanwezig.

Achter de vertragingstraat van het radioactief afgassysteem (TS) worden monsters genomen van de afgassen. Deze worden op activiteit en samenstelling gecontroleerd.

6.6.13 Installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY)

6.6.13.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY) heeft binnen het gecontroleerd gebied de volgende taken:

- het opvangen van koud en warm lekwater;
- het opnemen van koelmiddel bij het ontwateren van componenten en pijpleidingen;
- het ontlichten van componenten en pijpleidingen;
- het detecteren van een stoombel onder het reactorvatdeksel.

6.6.13.2 Systeembeschrijving

Lekwater wordt op diverse punten in de installatie opgevangen en via een verzamelleiding en een condensor naar de ontwateringstank gevoerd. Het lekwater wordt indien nodig gekoeld of ontlicht, verzameld en via het nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ) naar het radioactief afvalwatersysteem (TR) of het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD) gevoerd.

In de ontluchtingsleiding van het reactorvat is een temperatuurmeting geplaatst om snel een stoombel onder het REVA deksel te kunnen detecteren.

6.6.14 Nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ)

6.6.14.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ) verzamelt het bij de afwatering van de vloeren in het gecontroleerd gebied vrijkomende afvalwater en geeft dit samen met het afvalwater uit het installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY) af aan het radioactief afvalwatersysteem (TR).

6.6.14.2 Systeembeschrijving

Het nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ) is als open systeem uitgevoerd. In tegenstelling tot het door het installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY) verzamelde water wordt dit water niet meer geregenereerd, maar via het afvalwatersysteem (TR) definitief verwijderd. Het vrijkomende afvalwater wordt via leidingen naar de ontwateringstanks gevoerd. Deze tanks hebben een eigen pomp die het afvalwater in de gemeenschappelijke hoofdafvoerleiding persen. Vanuit deze hoofdafvoerleiding gaat het afvalwater naar de afvalwaterverzamel tanks van het TR-systeem.

6.6.15 Deminwateraanmaaksysteem (UA)

6.6.15.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

In het deminwateraanmaaksysteem (UA) wordt het water voor het vullen van de installaties van de centrale en het voortdurend benodigde suppletiewater ontzilt, van silicium ontdaan en opgeslagen in het deminwaterbassin. Als ruw water wordt water uit het industriewater-net gebruikt.

6.6.15.2 Systeembeschrijving

Het deminwateraanmaaksysteem bestaat uit twee identieke filterstraten met kationenfilters, CO₂-ontgassers, boosterpompen en anionen- en mengbedfilters en heeft gemeenschappelijk een regeneratie-installatie. Het UA-systeem betreft water vanuit de bedrijfswatertank van het bedrijfswatersysteem (UK). Met twee pompen wordt het water naar de filterstraten gevoerd. Het water dat de filterstraten doorlopen heeft, wordt opgeslagen in deminwatervoorraadtanks en wordt gebruikt als back-up voor het deminwatersuppletiesysteem (RZ).

6.6.16 Telefoon- en alarminstallaties

Alle telefoon- en alarminstallaties beschikken òf over een eigen accu, òf ze zijn aangesloten op het ononderbroken noodstroomstelsel.

Telefooninstallatie

Voor de algemene communicatie is er een telefooninstallatie geïnstalleerd. Deze bestaat uit een huiscentrale waarmee de verbinding met het openbare telefoonnet tot stand wordt gebracht en een bedrijfsafdeling, dat voor de communicatie binnen de kernenergiecentrale zelf wordt gebruikt.

Telefoonstelsel bij de bedieningspanelen

Naast de telefooninstallatie is er een afzonderlijk telefoonstelsel voor de bedieningspanelen. Dit wordt gebruikt voor de directe communicatie tussen de regelzaal, de reserve-regelzaal en de lokale bedieningspanelen.

Alarm- en omroepinstallatie

Een het gehele terrein van de centrale en het gebouwencomplex omvattende luidsprekerinstallatie wordt gebruikt voor de weergave van alarmsignalen en het omroepen van mededelingen. Er is een voorrangsschakeling, die het omroepen van mededelingen automatisch onderbreekt als er een alarm signaal moet worden doorgegeven.

6.7 CONVENTIONEEL SYSTEEM

In dit hoofdstuk wordt het conventioneel systeem behandeld. In de eerste paragraaf wordt het systeem globaal besproken. In de daarop volgende twee paragrafen wordt een beschrijving gegeven van respectievelijk de turbogeneratorset en het hoofdcondensaatsysteem. In de laatste twee paragrafen worden het stoomgeneratorspuisysteem en het deminwatersuppletiesysteem behandeld. Het hoofdvoedingswatersysteem en het hoofdstoomsysteem zijn vanwege hun belang voor de veiligheid reeds besproken in paragraaf 6.3.7, respectievelijk 6.3.9.

Het conventioneel systeem (secundair systeem) heeft als doel de warmte die in het primair systeem wordt opgewekt af te voeren uit het nucleaire deel van de installatie en deze om te zetten in elektriciteit.

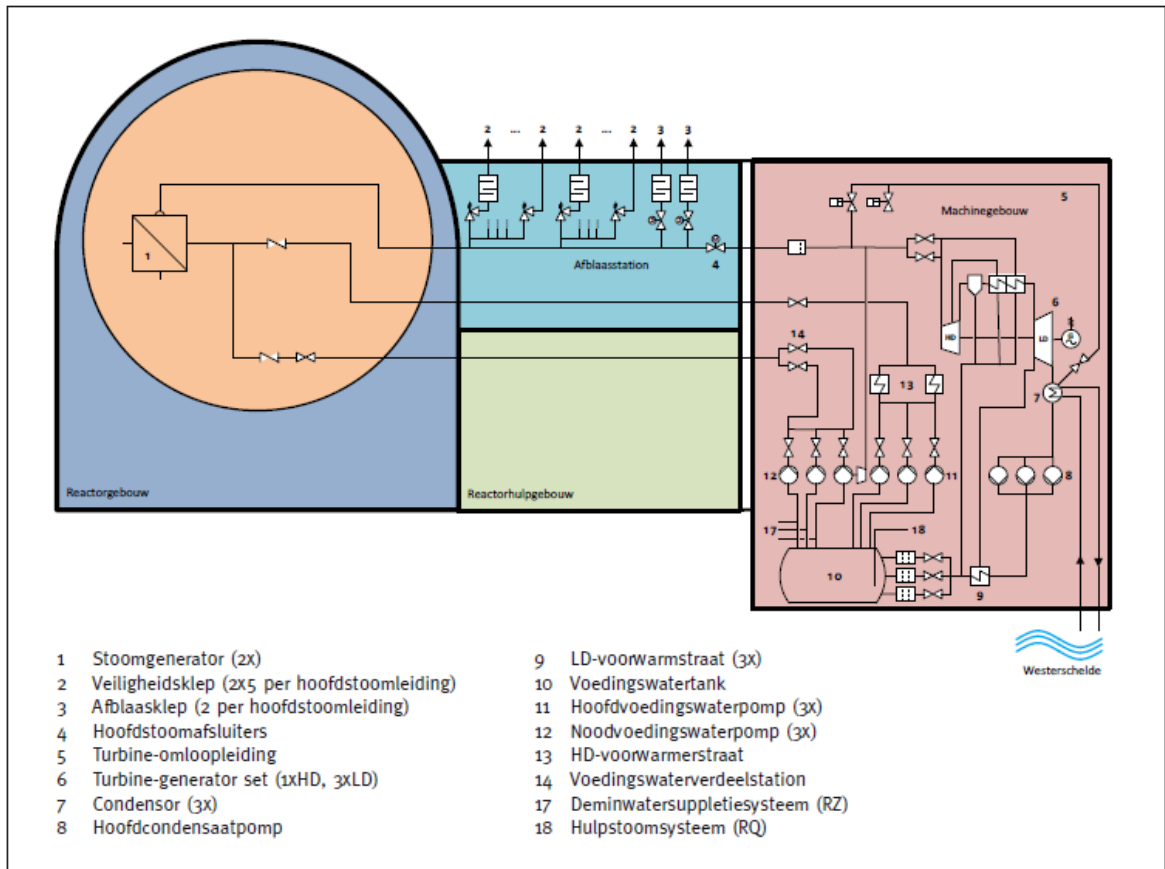
Het conventioneel systeem bestaat achtereenvolgens uit de volgende belangrijke deelsystemen (zie figuur 6.7/1):

- hoofdstoomsysteem (RA) (zie paragraaf 6.3.9);
- turbogenerator (SA-SZ) (zie paragraaf 6.7.1);
- hoofdcondensaatsysteem (RM) (zie paragraaf 6.7.2);
- hoofdvoedingswatersysteem (RL) (zie paragraaf 6.3.7);
- stoomgeneratorspuisysteem (RY) (zie paragraaf 6.7.4);
- deminwatersuppletiesysteem (RZ) (zie paragraaf 6.7.5);

Het hoofdstoomsysteem leidt de stoom, die in de stoomgeneratoren door de warmte van het primair systeem is opgewekt, naar de turbine. De stoom drijft de turbine aan met als gevolg dat in de aan de turbine gekoppelde generator elektriciteit opgewekt wordt. De afgewerkte stoom uit de turbine komt in de condensor, waar deze gecondenseerd wordt tot water met behulp van koelwater uit de Westerschelde. Het condenswater wordt door het hoofdcondensaatsysteem verzameld en naar de voedingswatertank geleid. Van de voedingswatertank wordt het water door het hoofdvoedingswatersysteem weer teruggevoerd naar de stoomgeneratoren waar het verhit wordt tot stoom. Om verontreiniging in de stoomgeneratoren te voorkomen worden verontreinigingen daaruit verwijderd door het stoomgeneratorspuisysteem.

Het conventioneel systeem vormt op deze wijze een gesloten circuit dat het nucleaire deel van de installatie scheidt van de Westerschelde. Hierdoor wordt bereikt dat overdracht van radioactiviteit door een lekkage tussen het primair en het secundair systeem niet leidt tot besmetting van het Westerscheldewater.

De karakteristieke gegevens van het conventioneel systeem zijn gegeven in tabel 6.7/1.



Figuur 6.7/1 Conventioneel systeem

Tabel 6.7/1 Conventioneel systeem met indicatieve gegevens

Hoofdstoomsysteem (RA) Zie paragraaf 6.3.9.		
Turbine-generator		
- toerental	3000	min-1
- elektrisch vermogen	477	MW
Hoofdcondensaatsysteem (RM)		
- debiet (vol vermogen)	420	kg/s
Hoofdcondensaatpomp		
- aantal	3	
- capaciteit/druk	260kg/s / 360kg/s /	22 bar 15bar
Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL) Zie paragraaf 6.3.7.		
Stoomgeneratorspuisysteem (RY)		
- capaciteit	3	kg/s
Deminwatersuppletiesysteem (RZ)		
Deminwatersuppletiebassin		
- aantal	4	
- minimaal aanwezige deminwaterhoeveelheid	268	m ³

6.7.1 Turbogenerator (SA-SZ)

6.7.1.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

De turbine wordt aangedreven door de stoom uit het hoofdstoomsysteem. Het thermisch vermogen, dat in het primair systeem is opgewekt, wordt zo omgezet in de rotatie van de turbine-as. De generator, waarvan de rotor vast verbonden is met deze as, zet vervolgens de rotatie-energie om in elektrische energie. Na de turbine wordt de stoom afgevoerd naar de condensoren en afgekoeld tot water.

6.7.1.2 Systeembeschrijving

De turbogenerator bestaat uit een vierhuizige, éénassige turbine, met direct daaraan gekoppeld de generator. De turbine bestaat uit één HD-trap met twee uitlaten en drie LD-trappen met in totaal zes uitlaten. De stoom wordt eerst door de HD-trap gevoerd en daarna door de verschillende LD-trappen. Tussen het HD- en LD-deel wordt de stoom gedroogd in twee waterafscheiders en in twee maal twee oververhitters herverhit (zie figuur 6.7.1/1). Deze herverhitting gebeurt met behulp van condenserende aftapstoom van de HD-trap en verse stoom uit de hoofdstoomleiding. Ieder paar uitlaten van de LD-trappen wordt samengevoegd en de stoom wordt naar condensoren gevoerd. Hierin condenseert de stoom als gevolg van de

koeling met het koude Westerscheldewater dat door het hoofdkoelwatersysteem (VC) wordt aangevoerd. Om corrosie door zeewater te voorkomen zijn de pijpen van de condensors uitgevoerd in titanium. De condensors zijn gedimensioneerd op de bij vol vermogen uit de turbine komende stoomhoeveelheid. Ze kunnen zelfs de gehele stoomhoeveelheid opnemen die na een vollastafschakeling van de turbine in de stoomgeneratoren wordt geproduceerd. In de condensors wordt door middel van pompen een vacuüm gehandhaafd. De condensorafzuiggassen worden normaal over het dak van het machinegebouw afgeblazen. Indien er in die gassen radioactiviteit gemeten wordt, dan worden de gassen afgevoerd naar het nucleair ventilatiesysteem (TL). Bij een eventuele lekkage van een stoomgeneratorpijp kan dan geen radioactiviteit ongecontroleerd naar de omgeving afgegeven worden (zie paragraaf 6.3.2).

De turbine is aan de inlaatzijde voorzien van vier snelsluitkleppen en vier regelkleppen. De functie van de snelsluitkleppen bestaat uit het ogenblikkelijk onderbreken van de stoomtoevoer naar de turbine, wanneer deze snel afgeschakeld moet worden (TUSA). Het stroomdebiet door de turbine wordt door regelkleppen bepaald die door de hydraulische turbineregeling aangestuurd worden. Hierdoor kan tijdens in- of uitbedrijfname van de turbine het toerental en tijdens vermogensbedrijf het vermogen aangepast worden.

De turbine is voorzien van beveiligingsinrichtingen die, onafhankelijk van de turbineregeling, de snelsluit- en regelkleppen kunnen sluiten. Deze beveiligingsinrichtingen spreken onder meer aan bij de volgende afschakelcriteria:

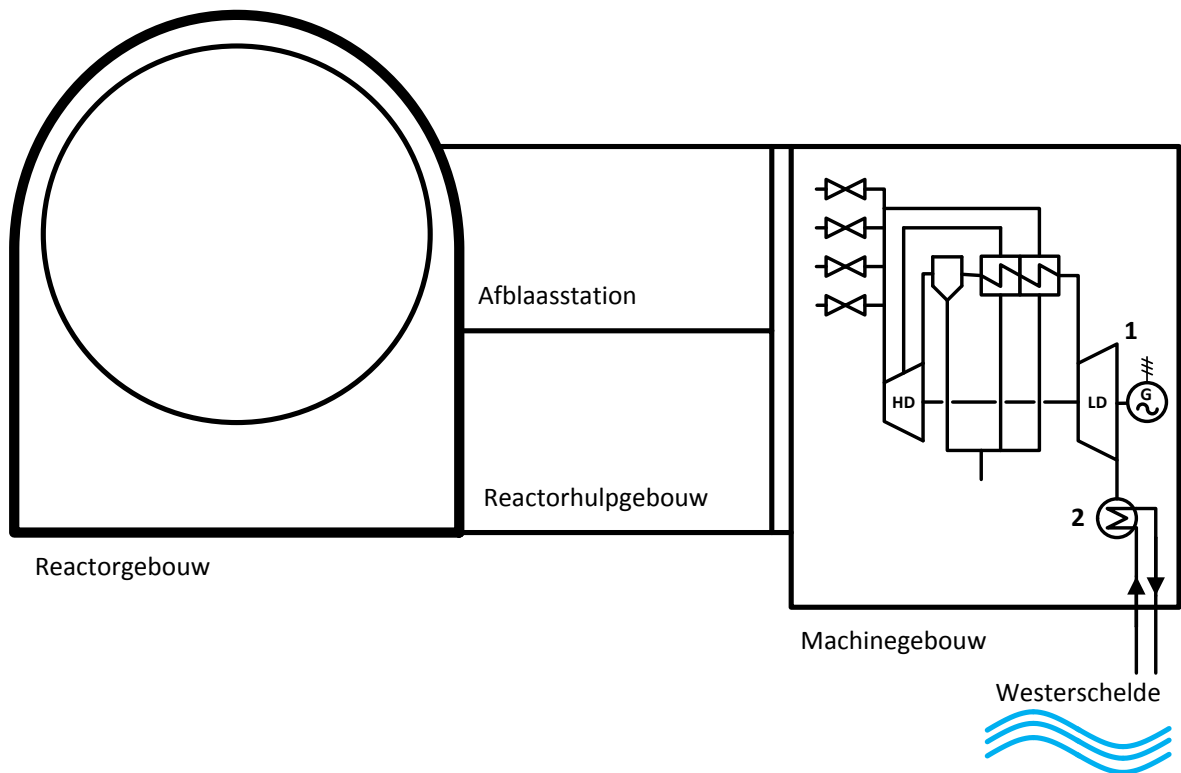
- toerental te hoog;
- lageroliedruk te laag;
- vacuüm onvoldoende;
- axiale uitzetting te groot.

Bij één van deze signalen wordt de oliedruk voor de kleppen weggenomen waardoor deze door middel van veren automatisch sluiten.

Bij in- en uitbedrijfname zorgt de hydraulische torninstallatie ervoor dat de rotoren van de turbine gedurende een bepaalde tijd met een voldoende hoog toerental draaien. Hierdoor wordt voorkomen dat de rotoren door ongelijkmatige opwarming of afkoeling kromtrekken, waardoor een onbalans ontstaat die trillingen kan veroorzaken. De handtorninstallatie wordt gebruikt voor het verdraaien van de rotoren voor bijvoorbeeld inspectiewerkzaamheden.

De generator zet de kinetische energie van de turbine om in elektrische energie. De generator heeft een klemspanning van 21 kV en bij vol vermogen bedraagt de stroomsterkte 13 kA. De werkelijk optredende stroom is evenredig met het opgewekte vermogen. De toelaatbare stroom wordt bepaald door de warmtebalans in de generator. De in de tweepolige generator opgewekte elektrische energie wordt via de machinetransformator (AT) afgegeven aan het koppelnet. De beveiligingen van de generator spreken aan op basis van stroommetingen.

De generator wordt gekoeld met waterstofgas. Waterstofgas wordt toegepast vanwege het gunstige warmteafvoerend vermogen. Eventuele lekkages in het waterstofsysteem worden gedetecteerd met als gevolg dat de waterstoftoevoer direct afgesloten wordt.



- 1 Turbine-generatorset (1xHD, 3xLD)
- 2 Condensor (3x)

Figuur 6.7.1/1 Turbine-generator set (SA-SZ)

6.7.2 Hoofdcondensaatsysteem (RM)

6.7.2.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het hoofdcondensaatsysteem (RM) zorgt ervoor dat het condensaat continu uit de condensors naar de voedingswatertank wordt afgevoerd. Van de totale hoeveelheid hoofdstoom wordt ongeveer tweederde verwerkt in de condensors en afgevoerd door het RM-systeem. De rest wordt, voor het de condensors bereikt, afgetapt en gebruikt als voorwarmstoom.

Hoofdcondensaat kan voortdurend aangevuld worden door toevoeging van deminwater in de condensors. Bij een eventueel tekort aan hoofdcondensaat kan in de hoofdcondensaatileiding, vlak voor de voedingswatertank, deminwater worden gevoerd met behulp van het deminwatersuppletiesysteem (RZ).

Het koude hoofdcondensaat wordt gebruikt voor koeling van de generatorkoelers, de stoomgeneratorspuikoelers en enkele andere componenten. Tevens wordt het RM-systeem gebruikt voor de sperwaterverzorging en het vullen van bepaalde tanks met condensaat. Voordat het hoofdcondensaat aan de voedingswatertank wordt afgegeven wordt het voorverwarmd.

Ter bescherming van de condensaatleidingen, voorverwarmers en condensaatkoelers tegen corrosie wordt in het condensaat hydrazine (N_2H_4) gedoseerd.

6.7.2.2 Systeembeschrijving

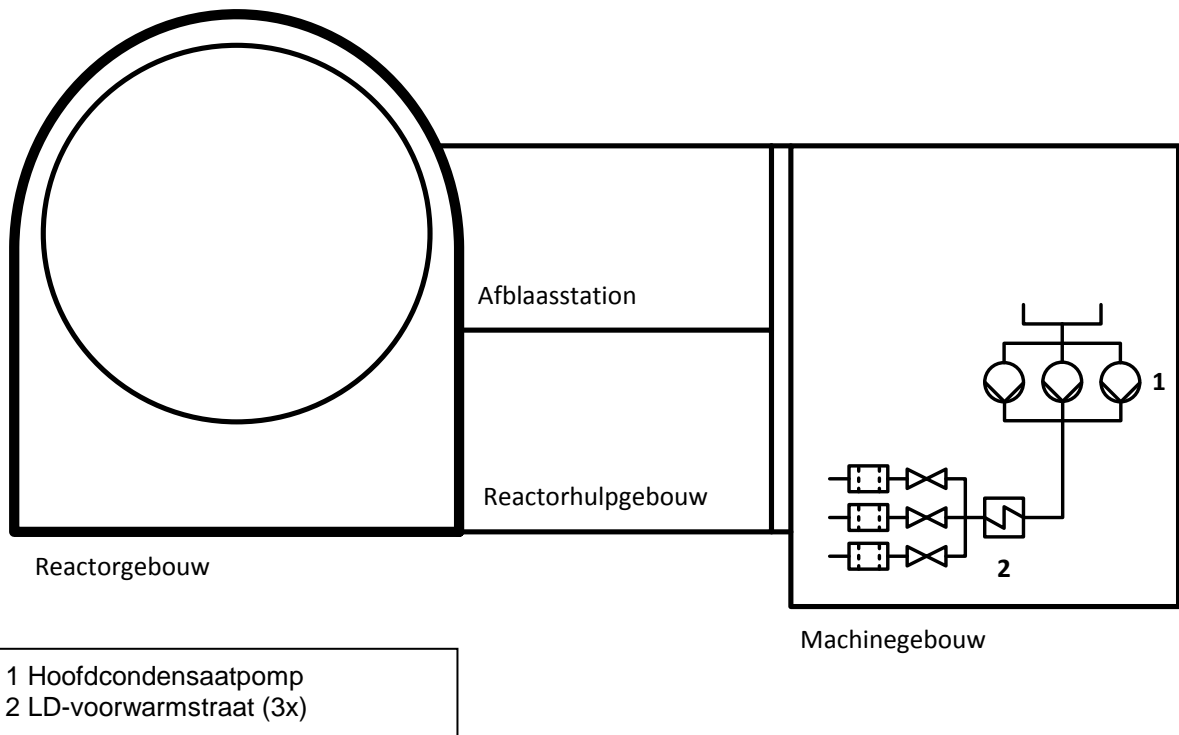
Het hoofdcondensaat wordt uit elk van de drie condensors verzameld in twee zuigleidingen (zie figuur 10.4/1). Parallel aan elk paar zuigleidingen vindt een geleidbaarheidsmeting plaats ten behoeve van de bewaking van pijpbreuk in de condensor. De zes hoofdcondensaatzuigleidingen zijn aangesloten op een verzamelleiding. Vanaf deze verzamelleiding gaan drie leidingen naar de drie hoofdcondensaatspompen. Deze hoofdcondensaatspompen zijn als vijftrapspompen uitgevoerd, waarvan de eerste trap als hoofdcondensaatvoorpomp dienst doet en de tweede tot en met de vijfde trap als hoofdcondensaathoofdpomp. De persleidingen van de voerpompen zijn aangesloten op een verzamelleiding. Op deze verzamelleiding zijn verschillende aftappen en toevoeren aangebracht voor de sperwaterverzorging, het vulsysteem, de chemicaliëndosering en de generatorkoeling.

Het condensaat wordt nu verder gepompt door de drie hoofdcondensaathoofdpompen. Tijdens normaal bedrijf zijn twee van deze pompen in bedrijf. De persleidingen van de hoofdpompen zijn aangesloten op een verzamelleiding. Deze verzamelleiding splitst zich later weer in drie strangen die naar de drie zes-traps voorwarmstraten leiden.

Het hoofdcondensaat wordt hierin opgewarmd door aftapstoom van de LD-turbines. Iedere turbine voorziet zijn eigen voorwarmstraat van verwarmingsstoom. Na de voorverwarmers wordt het condensaat in een verzamelleiding gevoerd. In deze leiding wordt opgewarmd condensaat uit de stoomgeneratorspuikoelers toegevoegd aan het hoofdcondensaat. Tevens is op deze leiding een aansluiting van het deminwatersuppletiesysteem (RZ) gemaakt zodat in het geval er te weinig

condensaat aan de voedingswatertank wordt toegevoerd dit aangevuld kan worden met deminwater. Ook kan hier hydrazine aan het condensaat worden toegevoegd.

Voor de voedingswatertank splitst de verzamelleiding zich in drie leidingen. Elk van deze leidingen is voorzien van een zeef. Het condensaat wordt met behulp van sproeikoppen in de voedingswatertank gespreid om een goede ontgassing te realiseren.



Figuur 6.7.2/1 Hoofdcondensaatstelsel (RM)

6.7.3 Hulpstoomsysteem (RQ)

6.7.3.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het hulpstoomsysteem (RQ) heeft tot taak:

- de vaste stoomverbruikers van stoom te voorzien, zowel bij in- als uitbedrijf zijnde centrale;
- de asafdichtingen van de turbine te voorzien van sperstoom.

6.7.3.2 Systeembeschrijving

Het hulpstoomsysteem (RQ) wordt tijdens vermogensbedrijf gevoed door het hoofdstoomsysteem (RA). De stoom wordt vanuit het RA-systeem naar de verzameltank van RQ gevoerd, vervolgens wordt deze stoom in druk verlaagd en naar een tweede tank gevoerd. Vanuit deze tweede tank wordt de stoom verdeeld onder de vaste verbruikers, waaronder het water- en stoomverzorgingssysteem (TN) en het deminwateraanmaaksysteem (UA). Daarnaast wordt stoom toegevoerd aan de turbogenerator (SA-SZ) in verband met afdichting van de turbine-assen.

Na een stilstandperiode wordt RQ in eerste instantie van stoom voorzien door een hulpketel. Na het opstarten van de centrale neemt het hoofdstoomsysteem de voeding van RQ over.

6.7.4 Stoomgeneratorspuisysteem (RY)

6.7.4.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Bij verdamping van water in de stoomgeneratoren blijven zouten en vaste verontreinigingen in het water achter. Om te voorkomen dat het water in de stoomgeneratoren verontreinigd raakt door de achtergebleven stoffen uit het verdampende water en dat deze verontreinigingen gaan uitkristalliseren in de stoomgeneratoren, wordt dit water gereinigd door het stoomgeneratorspuisysteem (RY).

6.7.4.2 Systeembeschrijving

Het water wordt onderin het secundaire deel van de stoomgeneratoren afgetapt waarna het afgekoeld en in druk gereduceerd wordt. Vervolgens wordt het water door een magneetfilter en een mengbedfilter gezuiverd. Het gereinigde water wordt teruggevoerd naar het hoofdcondensaatsysteem (RM).

Het spuiwater wordt gecontroleerd op radioactiviteit door een activiteitsmeting (TN060) om een lekkage van een stoomgeneratorpijp te detecteren. Bij overschrijding van een grenswaarde van de activiteit in het spuiwater wordt de stoomgeneratorspui automatisch afgesloten om verspreiding van de radioactiviteit te voorkomen.

6.7.5 Deminwatersuppletiesysteem (RZ)

6.7.5.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het deminwatersuppletiesysteem (RZ) heeft tot taak:

- het leveren van voedingswater aan het noodvoedingswatersysteem (RL) en het water- en stoomverzorgingsstelsel (TN);
- toevoer van voedingswater aan de stoomgeneratoren via het noodvoedingswatersysteem ten behoeve van Accident Management.

6.7.5.2 Systeembeschrijving

Het deminwater wordt in twee in de buitenlucht opgestelde deminwatervoorraadtanks (UA) opgeslagen en van daaruit aan de deminwaterbassins van het deminwatersuppletiesysteem (RZ) in het machinegebouw afgegeven. Vanuit dit bassin volgt de verdere verdeling met behulp van de deminwatertoevoerpompen.

6.8 BRANDBEHEERSSYSTEMEN

De beveiliging tegen brand binnen de installatie wordt beschreven in paragraaf 5.9.1. In de volgende paragrafen zijn de systemen beschreven die nodig zijn voor deze brandbeveiliging.

Voor de brandbestrijding zijn vijf brandbeheerssystemen aanwezig:

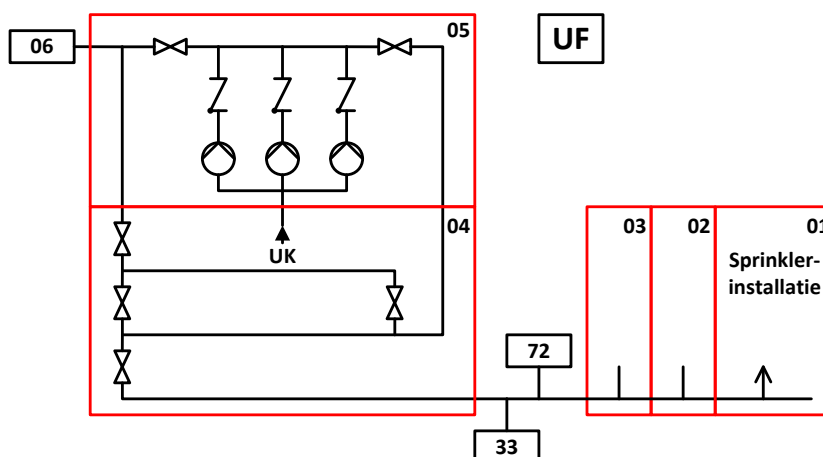
- brandmeldinstallatie (MF);
- hogedruk (HD)-brandblussysteem (UF);
- lagedruk (LD)-brandblussysteem (UJ);
- brandblussysteem transformatoren (UG);
- CO₂- en Inergenblusinstallatie (UX).

6.8.1 Brandmeldinstallatie (MF)

Om branden of rookontwikkeling vroegtijdig te kunnen ontdekken is er in en rondom de diverse gebouwen een brandmeldinstallatie geïnstalleerd. Naast de automatisch werkende melders zijn ook handmelders geïnstalleerd. Brandmelding vindt lokaal op een nevenpaneel en centraal in de regelzaal plaats. Bij een melding wordt de locatie van de aangesproken melder gegeven alsmede instructies voor de bestrijding van de brand. Door een onderverdeling en weergave op het brandbeveiligingspaneel in de regelzaal is snel detecteren, lokaliseren en bestrijden van een gemelde brand gewaarborgd.

6.8.2 HD-brandblussysteem (UF)

Het HD-brandblussysteem (UF) voert het water uit het bedrijfswatersysteem (UK) (of als het UK-systeem niet beschikbaar is uit het UJ-systeem) via twee HD-pompen en een LD-drukhoudpomp naar de brandkranen in de gebouwen 01, 02, 03, 04, 05, 06, 33, 72 en naar de sprinklerinstallatie bij de hoofdkoelmiddelpompen (figuur 6.8.2/1).



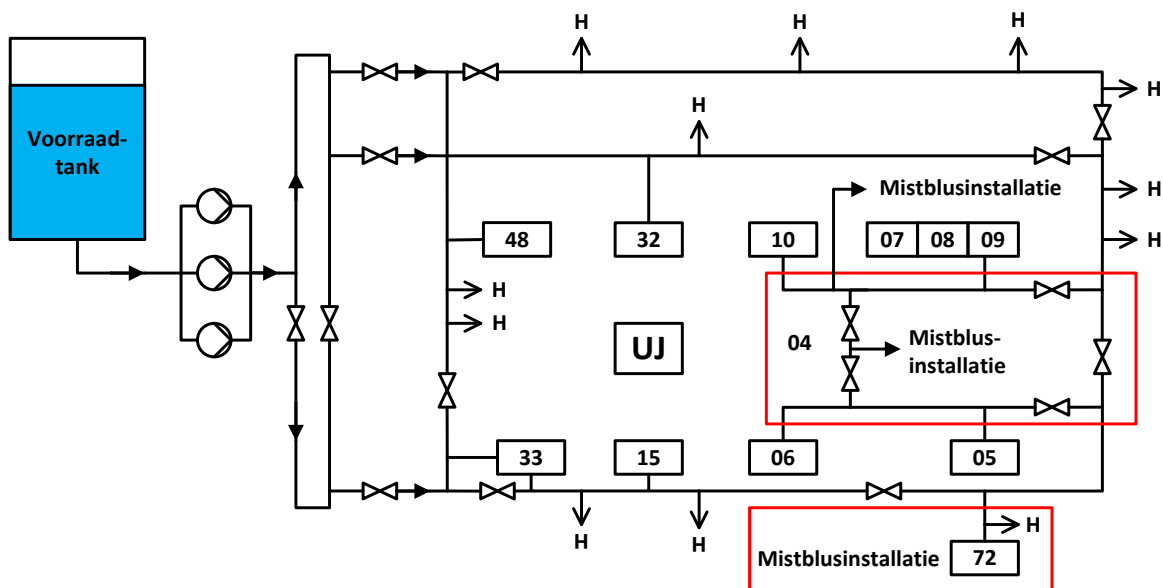
Figuur 6.8.2/1 HD-Brandblussysteem (UF) - principeschema –

6.8.3 LD-brandblussysteem (UJ)

Het LD-brandblussysteem (UJ) wordt door drie pompen van water voorzien uit een voorraadtank. Dit water wordt naar de ringleiding met de hydranten en naar de aftakkingen voor de overige gebouwen gevoerd. Het LD- brandblussysteem voedt tevens de mistblusinstallaties bij de volgende installatiedelen:

- kerninundatiepompen (TJ);
- brandstofvoorraadtanks en dieselgeneratoren in noodstroombieselgebouw 72 ;
- brandstofvoorraadtank in noodstroombieselgebouw 10;
- ruimte met turbine-olietank in het machinegebouw;
- olieleiding van de turbine in het machinegebouw;
- HD-gedeelte van de turbine in het machinegebouw;
- dichtingsolie generator;
- kabelkanalen gebouw 03;
- kabelkelders gebouw 05.

De mistblusinstallaties zijn automatische blusinstallaties die geactiveerd worden door het branddetectiesysteem. Ze kunnen ook handmatig vanuit een veilige plaats in de buurt van de bluszone ingeschakeld worden. Het blussysteem in noodstroombieselgebouw 10 kan alleen handmatig bediend worden.



Figuur 6.8.3/1 LD-Brandblussysteem (UJ) - prinsipeschema –

Er zijn twee typen mistblusinstallaties: microdropsystemen (MD) en fine water spraysystemen (FWS). Bij MD-systemen wordt het water door de sproeikoppen zeer fijn verneveld waardoor een wolk van fijne waterdruppels ontstaat waarmee een brand op een effectieve wijze geblust kan worden (gebouw 02, 03, 05 en 10). Bij de FWS-systemen wordt het water – net als bij de MD-systemen– eveneens zeer fijn verneveld, maar wordt dit effect versterkt door de waterdruppels verder te verkleinen door naast het water ook perslucht (vanuit US) toe te voeren in de sproeikoppen. FWS-systemen zijn aangebracht op plaatsen waar elektrische kabels en olievoorraad de voornaamste brandlast vormen (gebouw 04 en 72).

6.8.4 Brandblussysteem transformatoren (UG)

De sprinklerinstallatie van het brandblussysteem transformatoren (UG) is ingericht voor automatische brandbestrijding bij de machinetransformator (AT), de eigenbedrijftransformator (BT) en de beide starttransformatoren (BS). Het bluswater wordt door middel van perslucht uit een bij het systeem behorende watervoorraadtank naar de betreffende bluszone gevoerd.

6.8.5 CO₂- en Inergenblusinstallatie (UX)

De CO₂- en Inergenblusinstallatie (UX) dienen eveneens voor de automatische brandbestrijding. Dit gebeurt door middel van CO₂ in de smeeroliecompartimenten van de hoofdkoelmiddelpompen en door middel van Inergen in de verschillende ruimten met elektrotechnische installaties.

Daarnaast zijn er op alle etages en in de trappenhuizen van alle gebouwen voldoende handblusapparaten aanwezig.

6.9 SPLIJTSTOFOPSLAGSYSTEMEN

In hoofdstuk 6.9 worden de installaties voor het opslaan van splijststofelementen met het daarbij benodigde koelsysteem beschreven. In paragraaf 6.9.1 wordt de opslag van nieuwe en gebruikte splijststofelementen beschreven. Paragraaf 6.9.2 beschrijft het koelsysteem van het splijststofopslagbassin.

6.9.1 Opslag van splijststofelementen

6.9.1.1 Opslag van nieuwe splijststofelementen

Nieuwe splijststofelementen worden bij aankomst in de centrale in het splijststofopslagbassin (SOB, zie paragraaf 6.9.1.2) geplaatst. De afstand tussen de splijststofelementen in het SOB is zo gekozen dat, zelfs wanneer alle plaatsen bezet zijn door nieuwe splijststofelementen en het water in het bassin ongeboreerd is, onderkritikaliteit gewaarborgd is ($k_{\text{eff}} \leq 0,95$). Normaal is het water geboreerd en is slechts een gedeelte van de beschikbare plaatsen daadwerkelijk door nieuwe splijststofelementen bezet, zodat in feite de vermenigvuldigingsfactor aanzienlijk lager is.

6.9.1.2 Opslag van gebruikte splijststofelementen

Gebruikte splijststofelementen worden in het SOB bewaard totdat ze afgevoerd worden uit de centrale. Het SOB bevindt zich binnen de veiligheidsomhulling en is verbonden met het reactorbassin. De bekleding van het SOB en het reactorbassin bestaat uit roestvaste stalen platen. De bekleding kan gecontroleerd worden op lekkage met behulp van het installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY). Het geboreerde water in het SOB dient om de gebruikte splijststofelementen te koelen. Verder dient het ter afscherming van de ioniserende straling van de gebruikte splijststofelementen en eventueel in het SOB opgeslagen geactiveerde of besmette constructiedelen.

De opening die het SOB met het reactorbassin verbindt is door een stalen schuif en betonnen afschermbalken afgesloten wanneer de reactor in bedrijf is. Tijdens de splijststofwisseling kunnen via deze opening de splijststofelementen onder water verplaatst worden. Deze opening is voorzien van een drempel die zo hoog is dat ook in het geval van lekkage langs de stalen schuif of lekkage van het primair systeem tijdens de splijststofwisseling, de splijststofelementen onder water blijven staan zodat de koeling gewaarborgd blijft.

Het reactorbassin wordt gevuld met geboreerd water uit de kerninundatievoorraad- tanks met behulp van de kerninundatiepompen (TJ) voordat een splijststofwisseling plaats vindt. Op deze wijze wordt de noodzakelijke afscherming tijdens het transport van de splijststofelementen van de reactor naar het SOB en omgekeerd verzorgd.

De splijststofwisselmachine (PL) wordt gebruikt om splijststofelementen en regelementen te verplaatsen. Het kan hierbij gaan om verplaatsingen binnen het reactorvat en om verplaatsingen vanuit het reactorvat naar het SOB en omgekeerd. De wisselmachine wordt gebruikt tijdens de splijststofwisselperiode en voor het aan- en afvoeren van splijststofelementen. Een loopbrug met loopkatsysteem zorgt er voor dat de gehele machine zich in alle horizontale richtingen kan verplaatsen. Met behulp van daarop geplaatste geleidemast met grijper kunnen de elementen in verticale richting verplaatst worden. Ook de bedieningslessenaar is op de machine geplaatst. Door de wormwielaandrijving van de hijsinstallatie wordt onbedoeld vieren

van de last voorkomen. Bovendien zijn er twee remtrommels aangebracht. Door een mechanische vergrendeling wordt voorkomen dat de grijper waarmee de elementen opgepakt worden onbedoeld geopend kan worden. Door zowel mechanische als elektrische begrenzingen wordt de rijweg van de machine beperkt. Ook de verticale verplaatsing wordt zowel elektrisch als mechanisch begrensd. Lastafval-beveiligingen voorkomen dat elementen bij aanraking van andere elementen, beschadigd raken. De splijststofwisselmachine kan zowel boven het SOB als het reactorbassin komen.

In het SOB bevinden zich compactrekken waarin het vergunde totaal van 500 splijstfoelementen kan worden opgeslagen. Deze rekken zijn voorzien van neutronenabsorberend materiaal tussen de posities waar de elementen staan. Tevens zijn een aantal opslagposities afgesloten volgens een bepaald patroon. Op deze posities kunnen daarom geen elementen worden geplaatst. De combinatie van deze twee voorzieningen garandeert onder alle omstandigheden de vereiste onderkriticaliteit bijbelading met ENU-, (c-)ERU- en/of MOX-splijstfoelementen. Tot de opslagrekken behoren ook de 56 posities in een demonteerbare stelling; ter plaatse van deze stelling kan in de periode tussen de splijststofwisselingen de transportcontainer voor de afvoer van splijstfoelementen geplaatst worden.

Naast opslagrekken is er ook plaats aanwezig voor de opslag van de aandrijfstangen van de regelementen. Tevens zijn er voorzieningen aanwezig voor het inspecteren en voor het uitvoeren van kleine reparaties aan eventuele defecte splijstfoelementen, evenals apparatuur voor het uitvoeren van controles om eventuele lekkage van splijststofstaven te bepalen.

Met de binnen de veiligheidsomhulling geplaatste polaire kraan (UQ010) en de buiten opgestelde halfportaalkraan (UQ016) worden nieuwe splijstfoelementen van buiten naar binnen de veiligheidsomhulling getransporteerd en aldaar opgeslagen in het SOB. Met dezelfde kranen worden de af te voeren elementen in een container vanuit het SOB naar buiten verplaatst voor aftransport. Beide kranen hebben een hoofdkraan voor lasten tot 110 ton en een hulpkraan voor lasten van 7,5 -30 ton. De 110-ton kranen zijn zodanig geconstrueerd dat ze bestand zijn tegen enkelvoudig falen. Bovendien is bij enkelvoudig falen of schade in de elektrische aandrijving bediening nog steeds mogelijk, zij het met beperkte snelheid. Het verplaatsen van de containers is alleen toegestaan langs bepaalde paden en zo laag mogelijk. Verder is een valdemper aanwezig in het SOB om lekkage daarvan te voorkomen in het geval een transportcontainer op deze positie zou vallen.

6.9.2 Spleijststofopslagbassinkoelsysteem (TG)

6.9.2.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het spleijststofopslagbassinkoelsysteem (TG) heeft tot taak om het SOB te koelen tijdens normaal bedrijf en bij ongevallen. Tijdens normaal bedrijf geeft het TG020/030-systeem de warmte uit het SOB af aan het nucleaire tussenkoelwatersysteem (TF), dat gekoeld wordt door het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF). Indien de normale nakoelketen langdurig niet beschikbaar is door invloeden van buitenaf of doordat deze systemen anderszins niet beschikbaar zijn, wordt de warmte uit het SOB via het reservebassinkoelsysteem (TG080) naar het reservekoelwatersysteem (VE) afgevoerd.

Het TG080-systeem maakt onderdeel uit van de reservekoelketen. De reservekoelketen bestaat uit de volgende systemen:

- reserve nakoelsysteem (TE);
- reserve bassinkoelsysteem (TG080), dat onderdeel uit maakt van het spleijststofopslagbassinkoelsysteem (TG);
- reserve noodkoelwatersysteem (VE).

Daarnaast heeft het TG-systeem tot taak het water van het SOB en indien nodig het water van het reactorbassin naar de filterinstallatie te voeren. Hier worden vaste en ionogene verontreinigingen verwijderd, zodat het zicht tijdens het wisselen van de spleijstfoelementen zo min mogelijk belemmerd wordt. In geval van radioactieve verontreinigingen leidt bovengenoemde reiniging tot een verlaging van het stralingsniveau aan de rand van de bassins.

Uitgangspunt voor het TG-systeem is het koelen van het SOB bij zowel invloeden van binnenuit alsook na invloeden van buitenaf. Deze laatste soort ongevallen wordt gerekend tot de zeldzame voorvallen, waardoor het TG-systeemdeel die deze functie vervult niet aan het enkelvoudig faal criterium hoeft te voldoen (zie paragraaf 5.1).

Het TG080-systeem heeft geen bedrijfsmatige functie.

6.9.2.2 Systeembeschrijving

Het SOB moet ongeacht het al of niet in bedrijf zijn van de reactor te allen tijde gekoeld worden om de afvoer van vervalwarmte van de gebruikte spleijstfoelementen uit het bassin te bewerkstelligen. De spleijstfoelementen bevinden zich zover onder de waterspiegel van het geboreerde water, dat het dosistempo aan de rand van het bassin ruim onder de maximaal toegestane waarde blijft.

Om het SOB te koelen heeft men de beschikking over het spleijststofopslagbassinkoelsysteem (TG).

Het TG-systeem bestaat uit:

- het spleijststofopslagbassin;
- het reactorbassin;
- het spleijststofopslagbassinkoelsysteem met twee **parallele-redundante** koelstrangen (TG020/030), drie SOB-circulatiepompen, twee SOB-koelers en aansluitende koelleidingen;

- reserve bassinkoelsysteem (TG080) met een reserve-SOB-koeler en aansluitende koelleidingen.

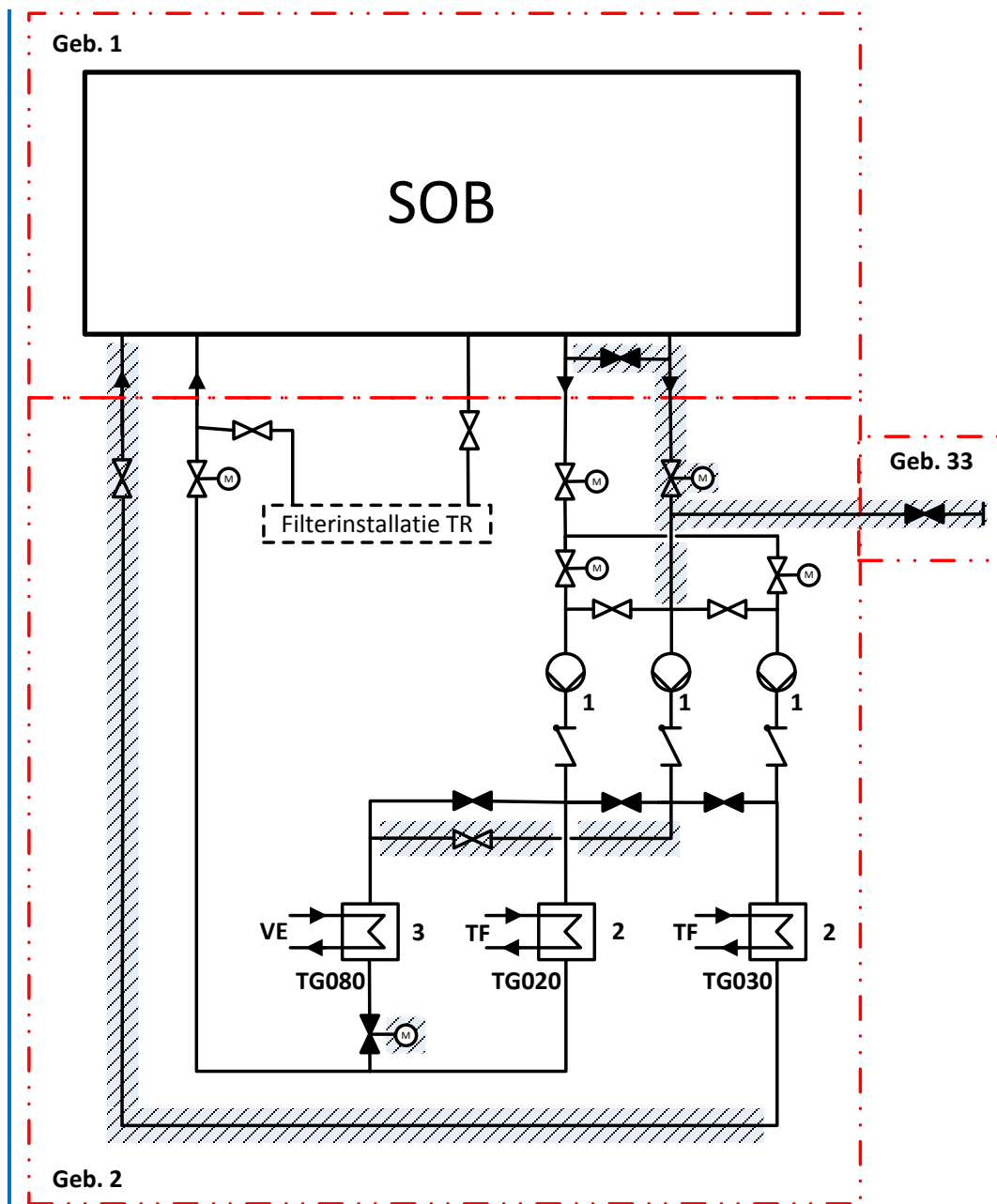
Tijdens normaal bedrijf geeft het TG-systeem de warmte uit het SOB af aan het nucleaire tussenkoelwatersysteem (TF), dat gekoeld wordt door het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF).

Het TG-systeem is zo ontworpen dat bij normaal bedrijf één pomp en één koeler voldoende zijn om de warmte-afvoer te verzorgen; een tweede pomp en koeler zijn als reserve aanwezig. De capaciteit van beide koelers en twee pompen samen is voldoende om tijdens een splijtstofwisseling de warmte van een geheel uitgeladen reactorkern en alle op dat moment in het opslagbassin aanwezige splijtstofelementen af te voeren.

~~Een derde pomp, die op beide koelers kan worden geschakeld, kan worden ingezet bij uitval van een pomp tijdens de splijtstofwisseling. Deze derde pomp dient als onderhoudsreserve.~~

Met één beschikbare pomp en koeler tijdens een splijtstofwisseling kan de warmte ook worden afgevoerd. Dit gaat echter gepaard met een hogere temperatuur van het water in het bassin. Om een te hoge temperatuur van het water in het bassin te voorkomen, moeten dan minder belangrijke verbruikers van de betreffende kringloop van het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF), zoals de warmtewisselaars van het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD) en het radioactief afvalwatersysteem (TR), worden uitgeschakeld.

Eén van de TG-circulatiepompen wordt gevoed door het noodstroomnet 1. Twee pompen worden door het noodstroomnet 2 gevoed, zodat ook na invloeden van buitenaf de koeling via het reservekoelwatersysteem (VE) is gewaarborgd.



1	Circulatiepomp	TF	NUCLEAIR TUSSENKOELSYSTEEM
2	SOB-koeler	TG020	SOB-KOELSYSTEEM
3	Reserve SOB-koeler	TG030	SOB-KOELSYSTEEM
		TG080	RESERVE SOB-KOELSYSTEEM
	SOB Splitsstofopslagbassin	TR	RADIOACTIEF AFWALTERSYSTEEM
		VE	RESERVE NOODKOELWATERSYSTEEM

Figuur 6.9.2/1 Splitsstofopslagbassin koelsysteem TG - principeschema -

Het SOB wordt van beneden naar boven doorstroomt. De pomp van de bassinkoelkringloop zuigt het verwarmde water aan via de overloopranden, perst het door de bassinkoeler en voert het weer [onder](#) in het bassin terug, waarbij een gedeelte van de stroom door de filterinstallatie gereinigd wordt. De te reinigen stroom kan naar keuze eveneens via de overloopgoot of via speciale reinigungsansluitingen in het SOB en het reactorbassin worden aangezogen. De terugvoer kan naar keuze naar de bassinkoelkringloop of naar de sproeileidingen plaatsvinden. Vooral bij een daling van de waterspiegel worden door de sproeileidingen de bassinwanden nat gehouden om zo het ontsnappen van radioactieve aërosolen en het door droging vasthechten van radioactieve stoffen te voorkomen.

Alle aansluitingen van het SOB zijn zo geplaatst, dat bij een lekkage in het daarop aansluitende leidingsysteem de minimaal vereiste waterhoogte boven de elementen in stand wordt gehouden en het dosistempo in het gebied rondom het SOB beneden de toegestane waarde blijft. Een beluchtungsleiding [met terugslagklep](#) beveiligd de naar het onderste deel van het SOB voerende leiding. Zo wordt voorkomen dat het bassin bij een lekkage van de leiding buiten het SOB door hevelwerking leegloopt.

Indien de normale nakoelketen langdurig niet beschikbaar is door invloeden van buitenaf of doordat deze systemen anderszins niet beschikbaar zijn, wordt de warmte via het reservebassinkoelsysteem (TG080) naar het reservekoelwatersysteem (VE) afgevoerd. Het TG080-systeem voert de vervalwarmte uit het splijstofopslagbassin af naar het VE-systeem. Het TG080-systeem maakt gebruik van het leidingwerk en pompen van het TG-systeem. Het betreffende gedeelte van het TG-systeem en het TG080-systeem zelf zijn bestand tegen invloeden van buitenaf [en staan opgelijnd om het TG080 systeem met bijhorende VE-pompen automatisch te starten op een hoge SOB-temperatuur](#).

Het TG080-systeem en de elektrische componenten van het TG-systeem die benodigd zijn voor TG080-bedrijf worden, bij uitval van de normale stroomvoorziening, gevoed door noodstroomnet 2 dat ook bestand is tegen invloeden van buitenaf.

6.9.2.3 Wijze van bedrijfsvoering

Normaal bedrijf

Tijdens vermogensbedrijf wordt het SOB gekoeld door het TG020/030-systeem met één TG-koelstrang, één SOB-circulatiepomp en één SOB-koeler in bedrijf. Het TG080-systeem staat stand-by.

Uitval normale nakoelketen

Als de warmteafvoer via het TG020/030-systeem niet functioneert, kan de warmte van het SOB afgevoerd worden met het TG080-systeem. De inbedrijfname van het TG080-systeem vindt [automatisch](#) plaats [op hoge SOB-temperatuur](#) of door bediening ter plaatste en de SOB-pompen vanaf de regelzaal of reserveregelzaal.

6.9.2.4 Veiligheidsbeschouwing

Het TG020/030-systeem is nodig voor de beheersing van ontwerpongevallen (zie paragraaf 5.1). Hierdoor is het enkelvoudig faalcriterium van toepassing. [De actieve componenten van het Het TG020/030-systeem](#), nodig voor de beheersing van deze ongevallen, [voldoent](#) aan dit criterium.

Het TG080-systeem is nodig indien het TG020/030-systeem langdurig niet beschikbaar is door invloeden van buitenaf of doordat dit systeem anderszins niet beschikbaar is. Deze situaties worden gerekend tot de zeldzame voorvallen, waardoor geen enkelvoudig falen voor het TG080-systeem verondersteld hoeft te worden (zie paragraaf 5.1).

De SOB-circulatiepompen, de SOB-koelers en de reserve-SOB-koeler zijn ondergebracht in dezelfde ruimte. Er is dus geen sprake van ruimtelijke scheiding.

Het TG-systeem is bestand tegen invloeden van binnenuit. In paragraaf 5.9 is de bestendigheid van het TG-systeem tegen invloeden van binnenuit aangetoond.

Omdat het nucleaire tussenkoelwatersysteem (TF) en het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) niet ontworpen zijn tegen invloeden van buitenaf wordt in het geval van invloeden van buitenaf de warmte van het SOB afgevoerd via het TG080-systeem, dat onderdeel uit maakt van de reservekoelketen. Het TG080-systeem en de betreffende TG-systeemdelen die benodigd zijn voor afvoer van de warmte via de reservekoelketen zijn ontworpen tegen invloeden van buitenaf en zijn gehuisvest in de gebouwen 01 en 02 die hier eveneens tegen bestand zijn. In paragraaf 5.10 is de bestendigheid van de betreffende TG-systeemdelen tegen invloeden van buitenaf aangetoond.

Tabel 6.9.2/1 Splijststofopslagbassinkoelsysteem (TG) met indicatieve componentgegevens

Circulatiepomp		
- aantal	3	
- persdruk	3,4	bar
- debiet	230	m ³ /h
SOB-koeler		
- aantal	2	
- warmteafvoercapaciteit	3,3	MW
Reserve-SOB-koeler		
- aantal	1	
- warmteafvoercapaciteit	5,2	MW

6.10 RADIOACTIEF AFVALBEHANDELING

6.10.1 Radioactief afvalwatersysteem (TR)

6.10.1.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het radioactief afvalwatersysteem (TR) dient voor het opslaan van afvalwater en het verwijderen van verontreinigingen waaronder isotopen uit dit afvalwater en het gecontroleerd lozen van het afvalwater in de Westerschelde overeenkomstig de geldende wettelijke regelingen.

Uitgangspunt van het ontwerp van het systeem is het zo laag mogelijk houden van de lozing van radioactieve stoffen als redelijkerwijs mogelijk is. Hiertoe wordt een zodanig gebruik gemaakt van de aanwezige technische middelen dat een optimale zuivering van het radioactieve afvalwater wordt gerealiseerd. Door bovengenoemde zuivering wordt ervoor gezorgd dat de lozingen onder de in de vergunning gestelde limieten blijven (zie hoofdstuk 14).

De radioactieve lozingen vinden via de nevenkoelwaterafvoer en de hoofdkoelwaterafvoer plaats.

Als basis voor het ontwerp dienen de volgende afvalwaterstromen:

- afvalwater uit het hoofdkoelmiddelopslag en regeneratiesysteem (TD);
- lekwater afkomstig uit de installatieruimte;
- vloerwater afkomstig uit het gecontroleerd gebied;
- afval- en spoelwater afkomstig uit het "hete" laboratorium en de "hete" werkplaats, de monsternameruimte en de tanks van het decontaminatiewatersysteem (TU);
- water uit de wasbakken, de douches en de wasserij in het gecontroleerd gebied;
- eventueel besmet regenerant uit het stoomgeneratorspuisysteem (RY) in geval van lekkage van een stoomgeneratorpijp.

6.10.1.2 Systeembeschrijving

Het radioactief afvalwatersysteem is schematisch weergegeven in figuur 6.10.1/1. Aan de inlaatkant van het systeem bevinden zich vier verzameltanks. Enerzijds via de verdamperinstallatie en anderzijds rechtstreeks staan deze in verbinding met twee controletanks. De uitlaat van de controletanks voert via de afgiftepomp naar de uitlaat van het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) die weer uitkomt in het hoofdkoelwaterkanaal (VC). De verdamperinstallatie bestaat uit een verdamper met destillatiekolom en een condensor. De verdamper wordt verwarmd door het water- en stoomverzorgingssysteem (TN) en de condensor wordt gekoeld met het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF). De ontluchting van de condensor voert naar het nucleair ventilatiesysteem (TL). Twee vaten met zuur respectievelijk loog staan in verbinding met de destillatiekolom.

Het afvalwater doorloopt het systeem op de volgende wijze. Het afvalwater uit het gecontroleerd gebied wordt verzameld in de verzameltanks. Op grond van de activiteit en samenstelling van een monster uit een tank wordt het water van die tank hetzij direct, hetzij via de verdamper in een van de controletanks gepompt. Het douche- en waswater is over het algemeen niet verontreinigd en kan in dat geval direct in een controletank gepompt worden. Om deze reden wordt dit water in een aparte verzameltank opgeslagen. Na de verdamper is de activiteit met een

factor van globaal 10^4 afgenomen. Het water uit het hoofdkoelmiddelopslag en -regeneratiesysteem (TD) wordt in geval van tritiumlozing rechtstreeks naar de controletanks gevoerd. Dit water is namelijk al in het TD-systeem behandeld in een verdamper en gecontroleerd op activiteit (zie paragraaf 6.6.7). Van het water in een controletank wordt een monster genomen en gecontroleerd op activiteit waarna, indien de activiteit laag genoeg is, het water via het koelwaterkanaal geloosd wordt. Indien de aangetroffen activiteit te hoog is wordt het water teruggepompt naar de verzamel tanks voor verdere behandeling. De activiteit van het te lozen afvalwater en het koelwaterdebiet bepalen de snelheid waarmee geloosd wordt, zodanig dat de volumieke activiteit van het uittrekkende koelwater binnen de vergunningslimieten blijft. Tijdens het lozen vindt als extra controle een activiteitsmeting in de waterafgifteinstallatie plaats. Indien deze meting een te hoge waarde geeft, dan wordt de lozing automatisch en direct gestopt.

Alvorens een monster uit de verzamel- of de controletanks te nemen wordt de inhoud gedurende enige tijd met een circulatiepomp rondgepompt om inhomogeniteiten te voorkomen. Naast de activiteit wordt ook de zuurgraad bepaald en indien nodig in de destillatiekolom op een neutrale waarde gebracht.

Naast bovenstaande behandelingsmethoden voor het radioactieve afvalwater bestaat de mogelijkheid om tussen de verzamel tanks en de controletanks zonodig filters aan te sluiten.

Om ervoor te zorgen dat tijdens de lozing uit een controletank geen nieuw ongecontroleerd water de tank in kan stromen, wordt de afgiftepomp automatisch uitgeschakeld wanneer een van de toevoerleidingen van de desbetreffende controletank niet voor 100 % gesloten is.

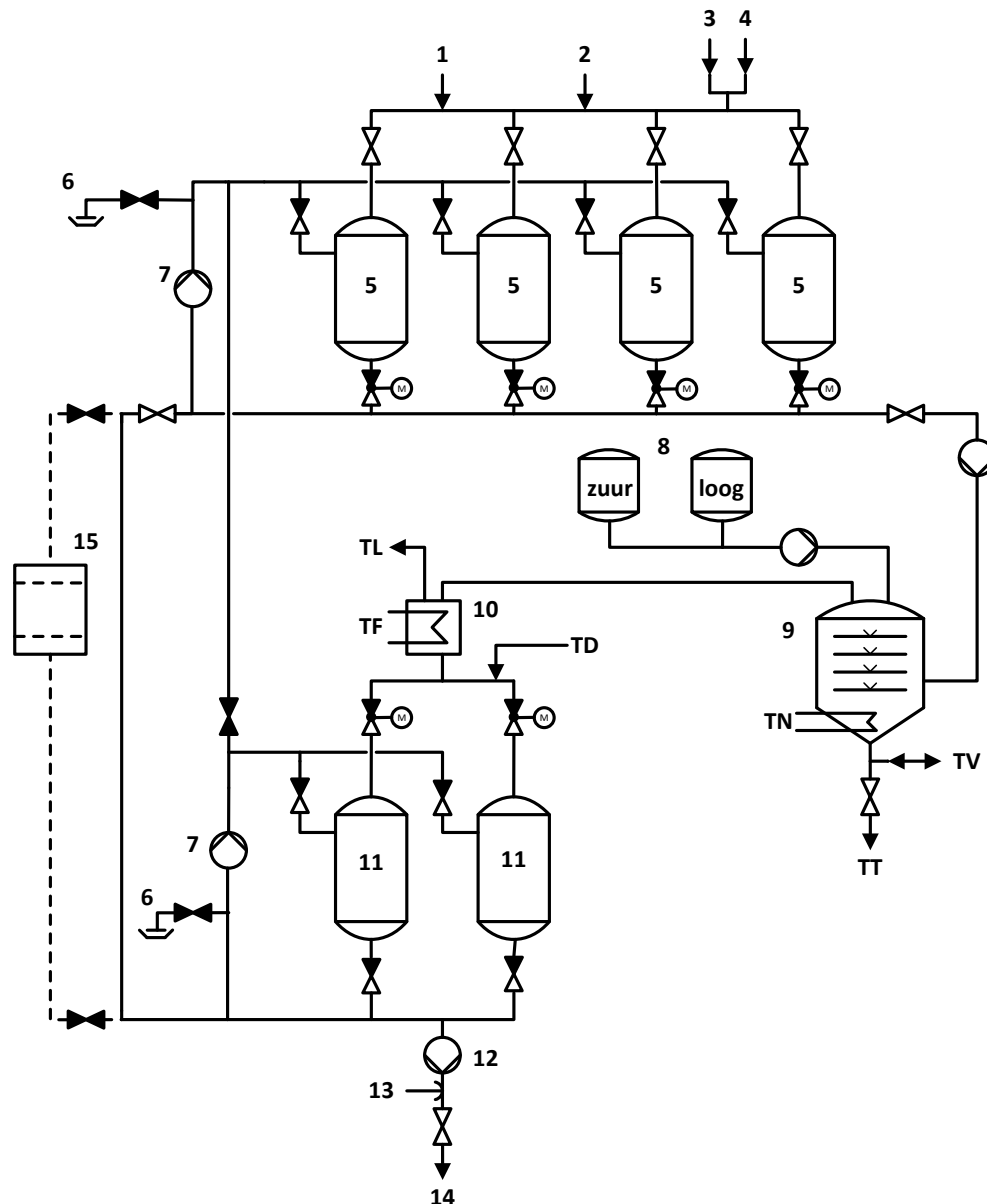
Tijdens normaal bedrijf wordt ervoor gezorgd dat altijd een (bijna) lege verzamel tank beschikbaar is. Mochten alle vier tanks toch vol zijn dan wordt het afvalwater naar het nucleair gebouwtwateringssysteem (TZ) geleid en daarin tijdelijk opgeslagen.

De achtergebleven verontreinigingen uit het afvalwater in het verdamperconcentraat worden in eerste instantie naar een tussenopslag gevoerd.

De capaciteit hiervan is voldoende voor circa 1,5 jaar bedrijf. Het afval wordt na deze tussenopslag verwerkt door het radioactief vast afvalsysteem (TT).

6.10.1.3 Lozing van vloeibaar radioactief afval

Vloeibaar radioactief afval wordt batchgewijs (in batches van $\pm 40 \text{ m}^3$) geloosd. Jaarlijks vinden enkele tientallen van deze lozingen plaats. Voor de hoeveelheden geloosd vloeibaar radioactief afval zie hoofdstuk 14.



1	Nucleaire gebouwontwatering (TZ)	13	Activiteitsmeting
2	Was- en douchewater	14	Uitlaat koelwatersysteem
3	Lab- en decontaminatiewater	15	Aansluitbaar aanslibfilter
4	Lekwater installatieruimte		
5	Verzameltank	TD	HOOFDKOELMIDDELOPSLAG EN REGENERATIESYSTEEM
6	Monstername	TF	NUCLEAIR TUSSENKOELWATERSYSTEEM
7	Circulatiepomp	TL	NUCLEAIR VENTILATIESYSTEEM
8	Chemicalientanks	TN	WATER- EN STOOMVERZORGINGSSYSTEEM
9	Verdamper en destillatiekolom	TT	RADIOACTIEF VAST AFVALSYSTEEM
10	Condensor	TV	NUCLEAIR MONSTERNAMESYSTEEM
11	Controletank		
12	Afgiftepomp		

Figuur 6.10.1/1 Radioactief afvalwatersysteem (TR) - principe schema -

6.10.2 Radioactief gasbehandelingssysteem (TS, TL)

6.10.2.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Radioactieve gasvormige stoffen en luchtstofgedragen activiteit kunnen op vier manieren vrij komen danwel in de installatie gevormd worden:

- in de vorm van edelgassen (Xe, Kr) in alle tanks en toestellen waarin zich primair water bevindt;
- in de vorm van tritium, edelgassen, halogenen en aërosolen als gevolg van lekkage van primair water naar de installatieruimte;
- in de vorm van tritium, edelgassen, halogenen en aërosolen als gevolg van lekkage van nucleaire hulpsystemen buiten de installatieruimte;
- in de vorm van edelgas (Ar) door activering van de lucht in de luchtspleet tussen het reactorvat en het biologisch schild.

In het eerstgenoemde geval worden de verontreinigingen afgevoerd door het radioactief afgassysteem (TS) en in de andere gevallen door het nucleair ventilatiesysteem (TL). Deze systemen hebben tot doel de vrijkomende radioactieve gassen gecontroleerd af te voeren zodat de geloosde activiteit zo laag als redelijkerwijs mogelijk is. Hierbij wordt ervoor gezorgd dat de lozingen onder de in de vergunning gestelde limieten blijven.

Het TS-systeem handhaaft in de tanks, toestellen en de ruimten waarin gasvormige radioactieve stoffen vrij kunnen komen een onderdruk ten opzichte van de buitenlucht, zodat de gassen niet naar de omgeving kunnen ontsnappen.

Daarnaast voorkomt het TS-systeem dat knalgas gevormd kan worden door het door radiolyse uit het primaire water gevormde waterstof en zuurstof.

6.10.2.2 Systeembeschrijving

De systeembeschrijving van het gehele nucleair ventilatiesysteem (TL) is gegeven in paragraaf 6.3.2.

Het radioactief afgassysteem (TS) bestaat uit een kringloop waarin stikstof ten behoeve van de spoeling van bepaalde tanks en toestellen wordt rondgepompt (zie figuur 6.10.2/1). De belangrijkste componenten van de kringloop zijn achtereenvolgens:

- 1 recombinator;
- 2 vlamdovers;
- 2 watteringcompressoren;
- 3 gel-drogers;
- 2 vertragingstraten elk bestaande uit 5 koelfilters;
- 1 gasfilter;
- verschillende drukreducertoestellen.

Het systeem bestaat uit een hoge druk (HD) en een lage druk (LD) gedeelte. Het HD-deel is het gedeelte tussen de perszijde van de compressoren en de drukreducertoestellen, het LD-deel is het overige gedeelte. Op het LD-deel zijn de tanks en de toestellen aangesloten waarin waterstofgas en gasvormige splijtingsprodukten vrij kunnen komen. Dit deel wordt op een onderdruk gehouden zodat lekkage van radioactieve gassen naar voor personen toegankelijke ruimten wordt voorkomen. Door de constante spoeling wordt verhinderd dat explosieve mengsels van zuurstof en waterstof (knalgas) kunnen ontstaan en worden hoge concentraties van gasvormige splijtingsprodukten vermeden. In de recombinator wordt het aanwezige zuurstof- en waterstofgas gecontroleerd aan elkaar gebonden. De vlamdovers zorgen ervoor dat eventueel in de recombinator optredende vlammen zich niet kunnen verspreiden.

De concentraties zuurstof en waterstof worden voortdurend gecontroleerd. De compressor verhoogt de druk en stuurt het gas via een droger naar de vertragingsstraat. De verblijfsduur van de gasvormige splijtingsproducten in de vertragingsstraat is respectievelijk:

Xenon : 60 dagen minimaal
Krypton : 2,5 dagen minimaal

Het draaggas N_2 wordt niet geabsorbeerd in de koolfilters. Als de edelgassen de koolfilters gepasseerd zijn, is hun activiteit zodanig gereduceerd ten gevolge van natuurlijk verval dat de gassen via de ventilatieschacht, waarin de activiteit en het debiet gemeten worden door het TL-systeem, naar de buitenlucht kunnen worden afgevoerd. De gasafvoer naar de buitenlucht is afhankelijk van de gasdruk in het LD-gedeelte. Het grootste deel van het gasmengsel wordt niet via de ventilatieschacht afgevoerd, maar wordt in druk gereduceerd en naar het LD-deel teruggevoerd.

6.10.2.3 Lozing van gasvormig radioactief afval

Zoals in paragraaf 6.10.2.2 besproken zijn er bij normaal bedrijf twee gasvormige afvalstromen. Eén van het nucleair ventilatiesysteem (TL) en één van het radioactief afgassysteem (TS).

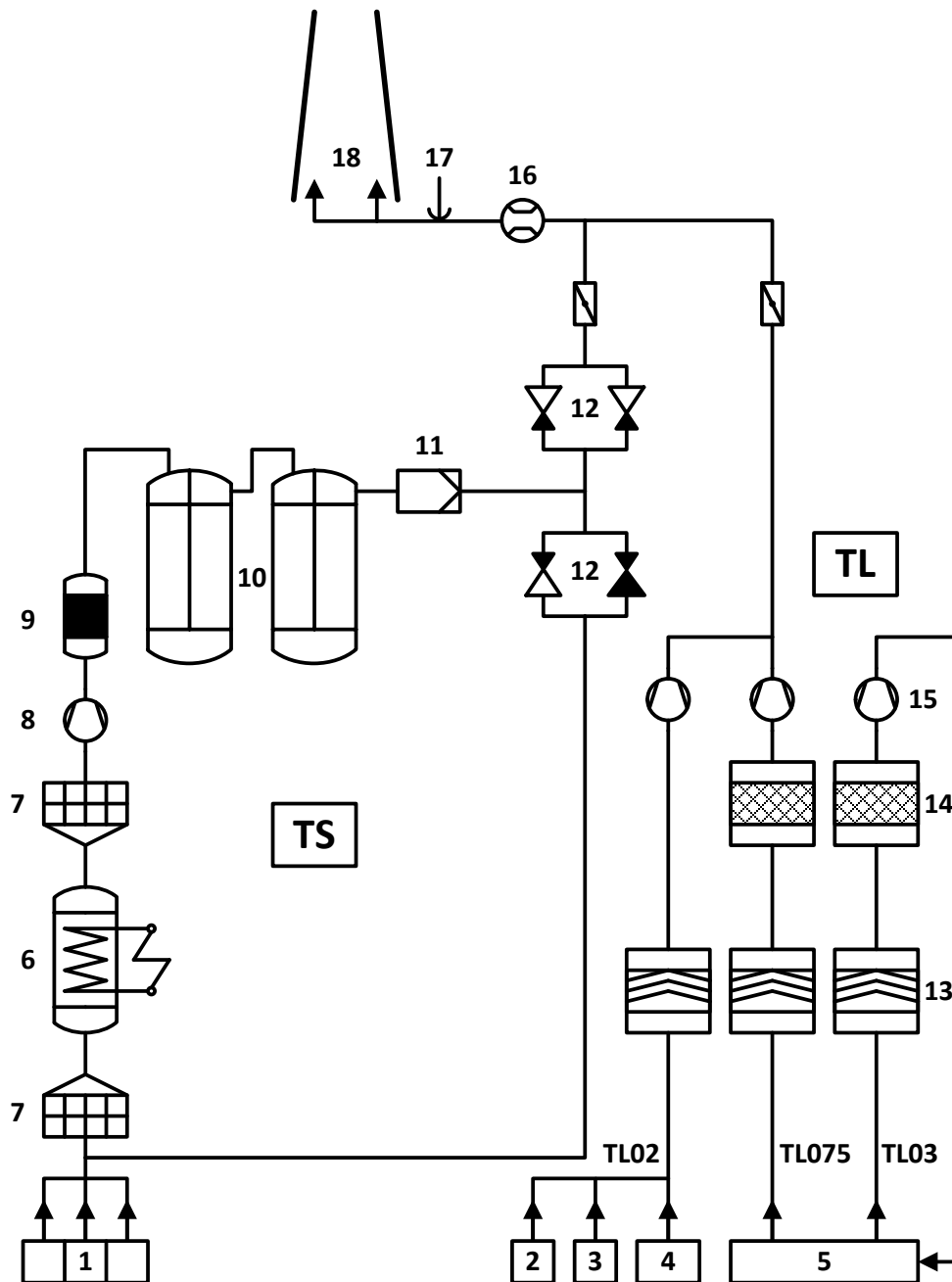
Lozing van gebouwlucht

Van de installatieruimte wordt een hoeveelheid lucht gefilterd afgevoerd via de ventilatieschacht. Daarnaast wordt een veel grotere hoeveelheid lucht uit de bedrijfsruimte, de ringruimte en het reactorhulpgebouw afgevoerd (zie figuur 11.3/1). Door menging van deze luchtstromen wordt bereikt dat de volumieke activiteit van de lucht voldoende laag is.

Lozing vanuit het radioactief afgassysteem

De aan het radioactief afgassysteem toegevoerde gasvormige splijtingsproducten worden na een vertragingstijd naar de ventilatieschacht geleid en verdund aan de omgeving afgegeven. Door de vertragingstijden zijn de kortlevende xenon- en kryptonisotopen bijna volledig vervallen. De activiteit van het nuclide ^{133}Xe is sterk gereduceerd, terwijl de activiteit van het relatief lang levende ^{85}Kr nog bijna volledig aanwezig is. De totale activiteit wordt door de vertragingstijd met een factor van ruim 100 verminderd. De lozing vindt uiteindelijk plaats via het TL-systeem (zie voor lozingsdata hoofdstuk 14).

In geval van stoomgeneratorlekkage komt er hoofdkoelmiddel in het secundair systeem en kan dit leiden tot lozing van edelgassen en tritium via de afzuiging van de condensors (zie paragraaf 6.7.1). Zodra echter in de afgezogen lucht activiteit gemeten wordt, dan worden de gassen, in plaats van over het dak, naar het nucleair ventilatiesysteem (TL) afgevoerd, zodat ook bij stoomgeneratorlekkage geen radioactiviteit ongecontroleerd naar de omgeving wordt geloosd.



1	Tanks	10	Vertragingstraat
2	Reactorhulpgebouw	11	Gasfilter
3	Ringruimte	12	Drukreduceertoestel
4	Bedrijfsruimte	13	Aerosolfilter
5	Installatieruimte	14	Koolfilter
6	Recombinator	15	Ventilator
7	Vlamdover	16	Debietmeting
8	Compressor (2x)	17	Activiteitsmetingen
9	Gel-droger (3x)	18	Ventilatieschacht

Figuur 6.10.2/1 Radioactief gas behandelingsysteem (TL, TS) - prinseschema -

6.10.3 **Radioactief vast afvalstelsel (TT)**

6.10.3.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Het radioactief vast afvalstelsel (TT) heeft als doel het vaste radioactief afval en het vloeibare radioactief afval dat niet door het radioactief afvalwatersysteem (TR) verwerkt kan worden, te verwerken en af te voeren. Het betreft voornamelijk het volgende afval:

- verdamperconcentraat;
- ionenwisselaarhars;
- poetslappen, kledingstukken e.d.;
- luchtfilters;
- filterresidu;
- besmette of geactiveerde constructiedelen;
- overig vloeibaar afval (oplosmiddelen, oliën e.d.).

6.10.3.2 **Systeembeschrijving**

Het systeem verwerkt de verschillende soorten afval conform de huidige inzichten op dit terrein op de hieronder beschreven wijze.

Het laag actieve vaste afval wordt gesorteerd en eventueel verschrot tot hanteerbare delen, waarna het in stalen vaten geperst wordt. Deze vaten kunnen later door COVRA verder verwerkt worden. Het vaste afval met een hogere activiteit wordt in stalen vaten en/of in grotere betonnen vaten gedaan, waarna het vat opgevuld wordt met cement. Het vloeibare afval (verdamperconcentraat) wordt in een geautomatiseerde cementeringsinstallatie vermengd met cement en in metalen vaten gedaan. De luchtfilters worden in pakketten in plastic verpakt.

Bij het opvullen van de vaten wordt de activiteit en de nuclidensamenstelling van het afval bepaald. Na het afsluiten van de vaten worden deze gecontroleerd op uitwendige besmetting en het dosistempo aan het oppervlak. Na eventuele reiniging worden de vaten geregistreerd en voorzien van de wettelijk voorgeschreven stickers met opschrift.

Indien nodig worden de vaten naar het afvalopslaggebouw getransporteerd in een betonnen container. Voor overdracht aan COVRA moet aangetoond worden dat de vaten voldoen aan de geldende wettelijke vervoersvoorschriften.

6.11 VOORZIENINGEN VOOR HET BEHEERSEN VAN ERNSTIGE ONGEVALLEN

In dit hoofdstuk worden accident management maatregelen behandeld die genomen worden bij voorvallen in de installatie, die bij een veronderstelde uitval van de redundante veiligheidssystemen het smelten van de kern tot gevolg zouden kunnen hebben. De eerste paragraaf beschrijft het concept dat ten aanzien van ernstige ongevallen wordt gehanteerd. De tweede paragraaf beschrijft de maatregelen die genomen worden in het kader van accident management. De resterende paragrafen beschrijven systemen voor de beheersing en mitigatie van ernstige ongevallen.

6.11.1 Concept van maatregelen bij ernstige ongevallen

De werkwijze bij het ontwerpen van de veiligheidssystemen leidt vaak tot overdimensionering van componenten en systemen, en door toepassing van het principe van enkelvoudig falen tot een redundant systeemontwerp. Door gebruik te maken van de aanwezige veiligheidsreserves is de effectiviteit van de systemen in werkelijkheid vaak aanzienlijk hoger. Hierdoor kunnen de systemen flexibel ingezet worden bij ernstige ongevallen.

Het concept van de maatregelen bij ernstige ongevallen is binnen het vierde veiligheidsniveau (zie paragraaf 5.1) gericht op het beperken van de gevolgen en het mobiliseren van de veiligheidsreserves, om zelfs bij het uitvallen van veiligheidssystemen (ernstige) kernschade, of in ieder geval ernstige gevolgen voor de omgeving, met grote waarschijnlijkheid te voorkomen.

Randvoorwaarden

De maatregelen binnen de installatie bij ernstige ongevallen zijn volgens de onderstaande principes opgezet om de veiligheidsreserves te activeren:

- de voor het realiseren van de maatregelen benodigde voorzieningen mogen de normale werking van de installatie en de beheersing van ontwerpongevallen niet nadelig beïnvloeden en moeten afdoende tegen foutief aanspreken beveiligd zijn;
- analyses als basis voor de inzet van de betreffende voorzieningen worden aan de hand van reële randvoorwaarden en zonder de bij het ontwerpen gebruikelijke conservatieve toeslagen uitgevoerd;
- vanwege de beschikbare interventietijden van enkele uren en de aard van de beschouwde gebeurtenissen, worden de ingrepen met de hand uitgevoerd;
- de ingrepen moeten op elk gewenst tijdstip onderbroken, herhaald of voortgezet kunnen worden.

Preventieve en schade beperkende maatregelen

De maatregelen binnen de installatie worden gefaseerd uitgevoerd, waarbij voorrang wordt verleend aan preventieve boven schade beperkende maatregelen. De maatregelen zijn gericht op:

- het handhaven van de integriteit van de kern;
- het verhinderen van het doorsmelten van het reactorvat; voor zover dit niet in alle gevallen mogelijk is, wordt toch in ieder geval het doorsmelten onder hoge inwendige druk verhinderd;
- het handhaven van de integriteit van de veiligheidsomhulling en het beperken van het vrijkomen van radioactiviteit.

De preventieve maatregelen hebben tot doel, het smelten van de reactorkern of in ieder geval het doorsmelten van het reactorvat te voorkomen. Hiervoor is het noodzakelijk dat de afvoer van de vervalwarmte in minimale mate zo lang in stand wordt gehouden, tot er weer een langdurige, stabiele kernkoeling gewaarborgd is. Bij voorkeur dient dit plaats te vinden bij intacte splijtstofelementen. Dit geschiedt in aanvulling op de maatregelen die moeten leiden tot het herstel van die stabiele kernkoeling door het opsporen en het verhelpen van de oorzaken die leiden tot het veronderstelde uitvallen van de veiligheidssystemen.

Als het lukt om met behulp van deze maatregelen het smelten van de kern te verhinderen of binnen het reactorvat te stoppen, dan kan de installatie daardoor zonder ernstige gevolgen voor de omgeving in een langdurig stabiele toestand gebracht worden. Wanneer door middel van de preventieve maatregelen het smelten van de kern en het doorsmelten van het reactorvat niet voorkomen kunnen worden, zijn de dan te treffen schade beperkende maatregelen er op gericht om in ieder geval de integriteit van de veiligheidsomhulling in stand te houden en alleen gecontroleerde en gefilterde afgifte van radioactiviteit uit de veiligheidsomhulling toe te laten.

Hierbij werkt de met grotere prioriteit als preventieve maatregel uitgevoerde drukvermindering als gevolg van primairzijdig afblazen tegelijkertijd al als schade beperkende maatregel voor het handhaven van de integriteit van de veiligheidsomhulling. Het doorsmelten van het reactorvat onder hoge inwendige druk, hetgeen een vroegtijdige beschadiging van de veiligheidsomhulling tot gevolg kan hebben, wordt hierdoor namelijk verhinderd. Bij de zich dan instellende, langzame drukopbouw in de veiligheidsomhulling staan voor het handhaven van de integriteit van de veiligheidsomhulling en voor het beperken van het vrijkomen van radioactiviteit, de volgende schade beperkende maatregelen ter beschikking:

- verminderen van de hoeveelheid gevormd waterstof;
- gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling.

6.11.2 **Accident Management maatregelen**

In deze paragraaf worden de volgende preventieve en lozing beperkende accident management maatregelen beschreven:

- vergroten van de beschikbare water- en dieselvoorraad in het reservesuppletiegebouw (33);
- additionele watertoevoer naar de stoomgeneratoren;
- [additionele watertoevoer naar het primair systeem;](#)
- [additionele watertoevoer naar het splijtstofopslagbassin;](#)
- [watertoevoer ten behoeve van externe reactorvatkoeling;](#)
- elektriciteitsvoorziening tijdens een "Station Blackout".

6.11.2.1 **Vergroten van de beschikbare water- en dieselvoorraad in het reservesuppletiegebouw (33)**

Na het optreden van externe invloeden is het van belang dat de reactorinstallatie gekoeld kan worden via de stoomgeneratoren. Bij het uitvallen van het noodvoedingswatersysteem (RL) zijn hiervoor het secundair reservesuppletiesysteem (RS) met voldoende watervoorraad en de noodstroomdieselaggregaten van noodstroomnet 2 met voldoende dieselolievoorraad benodigd. Omdat bij bepaalde externe invloeden (met name overstroming) het binnen een dag leveren van deze voorraden niet zeker is, kunnen de volgende maatregelen worden genomen om voldoende lang van de voorraden verzekerd te zijn.

De deminwatervoorraad in ieder van de twee redundanties (bassins) van het secundair reservesuppletiesysteem (RS) is voldoende om de stoomgeneratoren gedurende een autarkietijd van circa 10 uur te voeden bij uitval van het noodvoedingswatersysteem (zie paragraaf 6.3.8). In het geval dat één van beide RS-voedingsstrangen uitvalt, kan de voorraad van één van beide bassins echter niet worden gebruikt. Voor die situatie bestaat er een verbindingsmogelijkheid van de bassins (zie figuur 6.3.8/1), zodat ook in dat geval de gehele watervoorraad van beide bassins kan worden gebruikt. Om de strangenscheiding te handhaven is deze verbinding normaal losgekoppeld. Omdat de verbinding gemaakt wordt in het kader van Accident Management (AM) en pas nodig is op de langere termijn, wordt deze aangebracht door middel van handmaatregelen. Hiermee is de watervoorraad voldoende voor circa 3 dagen koeling van de reactor via de stoomgeneratoren.

De beide noodstroomdieselaggregaten van noodstroomnet 2 hebben voor de brandstofvoorziening elk hun eigen voorraadtank. In het kader van Accident Management (AM) kan worden beschikt over op de locatie aanwezige dieselolievoorraden die bestand zijn tegen overstroming en andere externe

invloeden zoals extreem weer en lichte aardbevingen. Hiermee is de beschikbare brandstofvoorraad voldoende voor in totaal circa 3 dagen bedrijf.

Met deze twee maatregelen wordt bereikt dat koeling via de stoomgeneratoren na het optreden van externe invloeden zeker 3 dagen is gewaarborgd, waardoor er voldoende tijd beschikbaar is voor aanvullend te nemen maatregelen.

6.11.2.2 **Additionele watertoevoer naar de stoomgeneratoren**

De installatie is voorzien van diverse systemen om de stoomgeneratoren te voeden en daarmee het primaire systeem en de reactor te koelen. Dit zijn het hoofd- en noodvoedingswatersysteem (RL) en het secundaire reservesuppletiesysteem (RS). Deze systemen zijn redundant uitgevoerd. In het onwaarschijnlijke geval dat beide systemen falen bestaat de mogelijkheid om met een externe pomp (bijvoorbeeld een brandweerpomp) water via de persleidingen van het RS-systeem direct naar de stoomgeneratoren te voeren. Hiertoe is het RS-systeem voorzien van een aparte aansluiting op de verbindingsleiding tussen de twee persleidingen van het RS-systeem (zie figuur 6.3.8/1).

6.11.2.3 **Additionele watertoevoer naar het primair systeem**

De installatie is voorzien van diverse systemen om na koelmiddelverlies-ongevallen lekkages en / of contractie te compenseren, en daarmee de afvoer van restwarmte uit de reactor te verzorgen en langdurig te verzekeren. Dit zijn het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) en het primair reservesuppletiesysteem (TW). Deze systemen zijn redundant uitgevoerd. In het onwaarschijnlijke geval dat beide systemen falen bestaat de mogelijkheid om met een externe pomp (bijvoorbeeld een brandweerpomp) water via de persleidingen van het TW-systeem direct naar de primaire kring te voeren. Hiertoe is het TW-systeem voorzien van een extra aansluiting op de perszijdige leiding. Zuigzijdig is een aansluiting voorzien om geboreerd water uit het bassin te kunnen onttrekken (zie figuur 6.3.4/1).

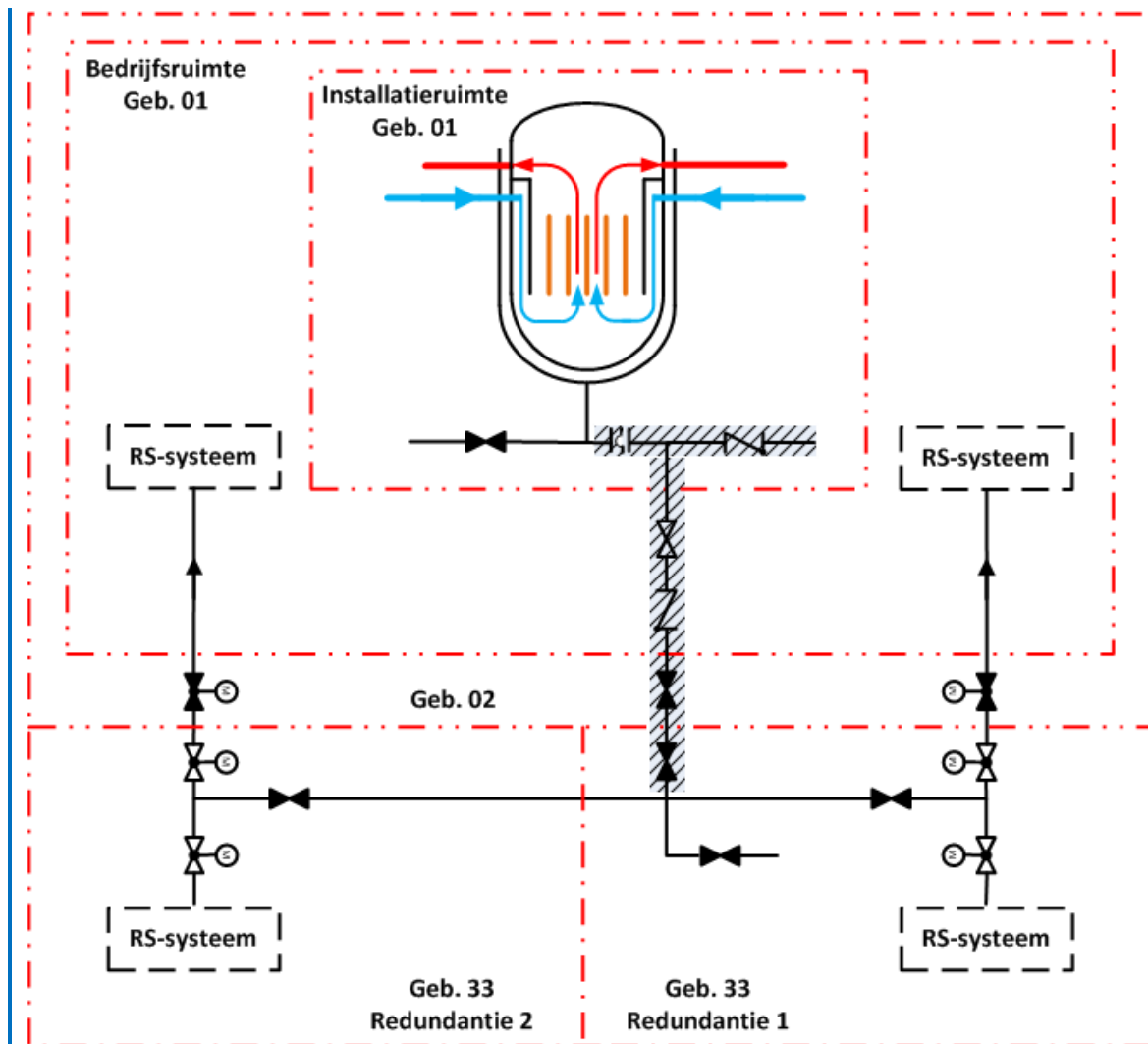
6.11.2.4 **Additionele watertoevoer naar het splijtstofopslagbassin**

De afvoer van restwarmte uit het splijtstofopslagbassin wordt verzorgd door het splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG) of via het reservebassinkoelsysteem (TG080) naar het reservekoelwatersysteem (VE). In het onwaarschijnlijke geval dat beide systemen falen bestaan er vele mogelijkheden om met een externe pomp (bijvoorbeeld een brandweerpomp) water toe te voeren vanuit gebouw 01, 02, 03 of 33 (zie figuur 6.9.2/1). Koeling vindt plaats door het aanvullen van verdampt water uit het splijtstofopslagbassin en warmte-afvoer via het gefilterde drukontlastingsysteem (TL003).

6.11.2.5 **Watertoevoer ten behoeve van externe reactorvatkoeling**

De installatie is voorzien van vele systemen om de afvoer van restwarmte uit de reactor te verzorgen en langdurig te verzekeren. In het onwaarschijnlijke geval dat alle systemen falen, bestaat de mogelijkheid om water toe te voeren naar de buitenkant van het reactorvat en zodoende de reactor te koelen. Hiervoor is een leiding aanwezig vanuit het tegen externe invloeden beschermde reservesuppletiegebouw (33) naar de installatieruimte. Deze leiding is aangesloten op het reservesuppletiesysteem (RS) zodat actieve voeding met behulp van een bestaande RS-pomp of met een externe pomp (bijvoorbeeld een brandweerpomp) kan plaatsvinden.

In de veiligheidsomhulling is de leiding aangesloten op de drainageleiding van de zogenaamde Flutbehalter die het reactorvat omsluit. Tevens is er een verbinding met terugslagklep naar de reactorput die passieve watertoevoer vanuit de reactorput mogelijk maakt (zie figuur 6.11.2.5/1).



Figuur 6.11.2.5/1 Watertoevoer ten behoeve van externe reactorvatkoeling - prinsieschema –

6.11.2.6 Elektriciteitsvoorziening tijdens een "Station Blackout"

Onder een "Station Blackout" verstaat men het uitvallen van de totale externe elektriciteitsvoorziening, het uitvallen van de eigenbedrijfsvoorziening en daarnaast het niet beschikbaar zijn van het noodstroomnet 1 omdat bijvoorbeeld de beide noodstroomdieselaggregaten en het reserve-aggregaat niet willen starten.

Voor het beheersen van een "Station Blackout" zijn de volgende voorzieningen nodig:

- het secundair reservesuppletiesysteem (RS) voor de voedingswatervoorziening van de stoomgeneratoren;
- het hoofdstoomafblaasstation voor het afblazen van de geproduceerde hoofdstoom;
- de kleppen voor het afsluiten van het primair systeem;
- de noodstroomdieselaggregaten van het noodstroomnet 2 dat de voor het beheersen van de "Station Blackout" benodigde installaties van stroom voorziet;
- de systemen die in geval van een "Station Blackout" tijdens de splijststofwisseling handmatig ingeschakeld worden:
 - o reservenoodkoelwatersysteem (VE) en reservenkoelsysteem (TE);
 - o splijststofopslagbassinkoelsysteem (TG).

Als zich een "Station Blackout" voordoet, wordt de installatie automatisch door het reactorbeveiligingssysteem afgeschakeld, in een veilige toestand gebracht en gehouden. Beide noodstroomdieselaggregaten van het noodstroomnet 2 worden automatisch gestart. Daardoor kunnen de stoomgeneratoren door middel van de pompen van het secundair reservesuppletiesysteem (RS) gevoed worden. Deze pompen worden automatisch ingeschakeld door het reactorbeveiligingssysteem als het niveau in de stoomgeneratoren daalt. Voor de afgifte van de hoofdstoom heeft men de beschikking over afblaasregel-kleppen.

"Station Blackout" en het tegelijkertijd uitvallen van het noodstroomnet 2

Bij het gelijktijdig uitvallen van alle netvoorzieningen, de eigenbedrijfsvoorziening en alle noodstroomdieselaggregaten, worden de veiligheidsrelevante gelijkstroomverbruikers gedurende tenminste 2 uur door accu's van stroom voorzien. Een periode van 2 uur wordt voldoende geacht om de verbinding met het externe net weer tot stand te brengen.

Voorts is er de mogelijkheid om de mobiele noodstroomvoorziening (EY080) aan te sluiten op het noodstroomnet 2. De mobiele noodstroomvoorziening kan direct worden aangesloten op een spanningsrail van één van de redundanties CW/CX en kan voldoende stroom leveren om primair en secundair water te suppleren en zo de centrale in een veilige toestand te brengen en te houden.

Daarnaast zijn aansluitpunten van 277 kVA aanwezig op de 400 V-noodstroomrails CU, CV, CW en CX ten behoeve van een snelle gerichte koppeling met een eenvoudig mobiel noodstroomaggregaat. Op CU en/of CV kunnen hiermee instrumentarium en noodverlichting op de regelzaal worden zekergesteld, alsmede luchtcirculatie in de ringruimte en de mogelijkheid tot het opladen van de batterijen.

Op CW en/of CX kunnen hiermee alle relevante afsluiters worden gestuurd om de koeling van de reactorkern te kunnen blijven verzorgen door middel van het afblazen van stoom .

Op de 400 V-noodstroomrails CW en CX is hiervoor bovendien additionele batterijcapaciteit geplaatst (zie figuur 6.5/1).

Voor de voeding van de stoomgeneratoren staat de noodvoedingswaterpomp met turbine-aandrijving ter beschikking. Aangezien dan de normale voedingswaterverzorging is uitgevallen, is voorzien in een aansluiting op het leidingwatersysteem. Vanuit een hoog geïnstalleerde tank stroomt het koelwater, zonder dat hiervoor externe energie nodig is, naar de pomp. De afgifte van de hoofdstoom geschiedt via de hoofdstoomveiligheidskleppen, die zonder hulpenergie werken. Daarnaast zijn voor koeling de hiervoor genoemde waterinjectiemogelijkheden met externe pompen in de stoomgeneratoren, primaire kring, slijtstofopslagbassin en/of naar de buitenkant van het reactorvat beschikbaar.

6.11.3 **Systeem voor gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling (TL003)**

6.11.3.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Tijdens een ernstig ongeval kan de druk in de veiligheidsomhulling oplopen. Het systeem voor gefilterde drukontlasting (TL003) heeft tot taak om bij een ernstig ongeval, deze druk beneden de gestelde grenzen te houden. Voorts moet de bij drukontlasting afgevoerde radiologisch besmette lucht door middel van een filterinstallatie gereinigd worden, voordat die geloosd wordt naar de omgeving.

De filterinstallatie is berekend op de bij een ongeval met kernsmelt in de veiligheidsomhulling heersende druk, temperatuur en radioactiviteit en de te verwachten belasting ten aanzien van de af te voeren energie.

6.11.3.2 **Systeembeschrijving**

De filterinstallatie bestaat uit een venturiwasser en een nageschakeld metaalvezelfilter. Door deze installatie worden de aërosolen voor 99,99 % tegengehouden en vindt een verregerende absorptie van elementair jodium plaats met een retentie van meer dan 99 %.

De belangrijkste onderdelen van het systeem voor gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling zijn (zie figuur 6.11.2/1):

- toevoerleidingen voor de besmette lucht met de gebouwafsluiters;
- venturiwasser met variabele druk;
- nageschakeld metaalvezelfilter;
- smoorinrichting
- schoongasleiding die in de ventilatieschacht uitmondt.

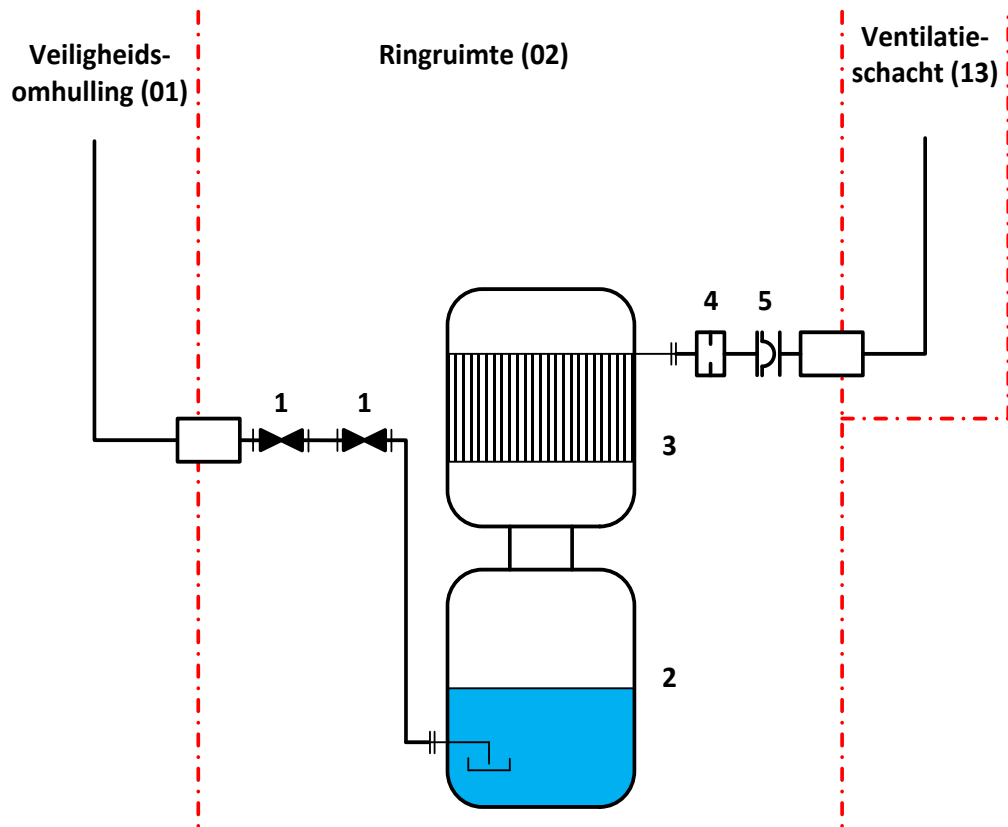
Aangezien het systeem onder normale omstandigheden met stikstof geïnertiseerd is, is de schoongasleiding door een breekplaat afgesloten.

De venturiwasser met variabele druk en het metaalvezelfilter staan opgesteld in de ringruimte (02). De schoongasleiding wordt in de ringruimte tot bij de ventilatieschacht geleid en is buiten het reactorgebouw direct daarop aangesloten.

De gebouwafsluiters in het hoge druk gedeelte van het systeem zijn onder normale omstandigheden (de stand-by toestand van het systeem) gesloten en vergrendeld.

Om de drukontlasting op gang te brengen, worden de gebouwafsluiters in de leiding voor besmette lucht handmatig vanuit de regelzaal geopend. De af te voeren stroom besmette lucht wordt naar de filterinstallatie geleid. De lucht wordt daar gereinigd en wordt via de schoongasleiding naar een vast ingestelde smoorinrichting gevoerd.

In de smoorinrichting wordt de massastroom beperkt en de druk omlaag gebracht tot een niveau dat bijna gelijk is aan de atmosferische druk. De schoongasstroom wordt vervolgens via de ventilatieschacht afgevoerd. De geloosde activiteit wordt gemeten en de waardes gepresenteerd in de regelzaal.



- | | |
|---------------------|-------------------|
| 1 Gebouwafsluiters | 4 Smoorinrichting |
| 2 Venturiwaseenheid | 5 Breekplaat |
| 3 Metaalvezelfilter | |

Figuur 6.11.2/1 Drukontlasting van de veiligheidsomhulling - prinsipeschema –

6.11.4 **Gasdetectie- en ontsteeksysteem (MK)**

6.11.4.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Over de Westerschelde vinden gastransporten plaats met schepen. Hierbij is het mogelijk dat ten gevolge van een ongeval een gaswolk met een hoge concentratie vrijkomt. Daarom beschikt de centrale over het gasdetectie- en ontsteeksysteem (MK). Het gasdetectie- en ontsteeksysteem heeft tot taak het voorkomen dat een wolk van brandbaar gas (met name LPG) met gasconcentraties boven de ontvlambaarheidsgrens vanaf de Westerschelde de veiligheidsrelevante gebouwen van de centrale kan bereiken.

6.11.4.2 **Systeembeschrijving**

Als een gaswolk de centrale bereikt en de gasconcentraties groter zijn dan de ontvlambaarheidsgrens, is ontbranding of explosie niet uit te sluiten. De piekoverdruk als gevolg van explosie van zo'n gaswolk kan boven de ontwerpwaarden van de gebouwen liggen die van belang zijn voor de veiligheid. Om voldoende zeker te stellen dat een dergelijke gaswolk ontbrandt op enige afstand van de gebouwen van de centrale (en niet tussen de gebouwen) zijn nabij de terreingrens aan de zijde van de Westerschelde detectoren en ontstekers geplaatst. De detectoren meten de eventuele aanwezigheid van ontbrandbare gassen op grond waarvan de ontstekers worden geactiveerd. De ontstekers zorgen ervoor dat een eventuele gaswolk in de open ruimte en op voldoende afstand van de veiligheidsrelevante gebouwen ontbrandt, zodat de resulterende piekdruk onder de ontwerpdruk van deze gebouwen blijft.

6.11.5 **Passief waterstofrecombinatiesysteem (TS-100)**

6.11.5.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

Tijdens ernstige ongevallen kan er waterstof vrijkomen in de veiligheidsomhulling. Als de waterstof explodeert kan de integriteit van de veiligheidsomhulling in gevaar komen. Daarom heeft de centrale de beschikking over het passief waterstofrecombinatiesysteem (TS-100). Het passief waterstofrecombinatiesysteem heeft tot taak het katalytisch omzetten van waterstof en zuurstof in stoom, zodat de kans op ontbranding van waterstof wordt gereduceerd en het optreden van een explosie nagenoeg kan worden uitgesloten.

6.11.5.2 **Systeembeschrijving**

Gedurende het proces van kernsmelten kunnen, tijdens de eerste uren door waterdamp-metaalreacties en op langere termijn door de wisselwerking tussen het gesmolten kernmateriaal en het beton, grote hoeveelheden waterstof ontstaan. Het is mogelijk dat de waterstof (gedeeltelijk) voortijdig, en vanwege het lokale karakter met weinig nadelige gevolgen, ontbrandt door een dan aanwezige ontstekingsbron (bijvoorbeeld een heet oppervlak). Echter op een later tijdstip, wanneer zich grote hoeveelheden waterstof hebben gevormd en de inertisatie van de atmosfeer door de stoom binnen de veiligheidsomhulling afneemt, zijn bij ontbranding grote druk- en temperatuurbelastingen van de veiligheidsomhulling niet uit te sluiten. De integriteit van de veiligheidsomhulling kan in dat geval in gevaar komen.

Daarom is als eenduidig veiligheidsgerichte maatregel ter omzetting van gevormd waterstof een systeem van recombinatoren toegepast. Deze zijn in verschillende ruimtes binnen de veiligheidsomhulling geïnstalleerd en werken passief. De recombinatoren zetten, in een al dan niet door stoom inert gemaakte atmosfeer, op grote schaal waterstof katalytisch om in water. Hiermee

wordt het risico van het in gevaar brengen van de integriteit van de veiligheidsomhulling door waterstofexplosies tot een minimum beperkt.

6.11.6 **Explosieluiken (ZB)**

6.11.6.1 **Functie en uitgangspunten van het ontwerp**

De ruimte binnen de veiligheidsomhulling wordt gevormd door de installatieruimte en de bedrijfsruimte. Bovenin en onderin de wanden die de installatieruimte en de bedrijfsruimte van elkaar scheiden zijn (explosie)luiken geplaatst. De explosieluiken (ZB) hebben in geval van een ongeval de taak om het drukverschil tussen de installatieruimte en de bedrijfsruimte binnen de veiligheidsomhulling te begrenzen. Daarnaast kan met het openen van deze luiken een natuurlijke circulatie tussen de verschillende ruimten van de installatieruimte en bedrijfsruimte op gang gebracht worden, waardoor plaatselijk hogere waterstofconcentraties worden voorkomen.

6.11.6.2 **Systeembeschrijving**

Tijdens normaal bedrijf is de druk in de installatieruimte lager dan in de bedrijfsruimte. Ten gevolge van een ongeval waarbij koelmiddel in de installatieruimte vrijkomt, is het mogelijk dat de druk in de installatieruimte hoger wordt dan in de bedrijfsruimte. De explosieluiken dienen ter bescherming van de wanden van de installatieruimte tegen te grote krachten en openen passief bij een te groot drukverschil tussen deze beide ruimten, bijvoorbeeld bij een groot koelmiddelverliesongeval

Daarnaast kunnen een aantal van deze luiken actief geopend worden, waardoor vroegtijdig menging ten gevolge van natuurlijke circulatie optreedt. Hierdoor worden plaatselijk hoge waterstofconcentraties in de installatieruimte voorkomen die kunnen leiden tot waterstofbranden of -explosies.

6.11.7 **Ongevalse-monsternamesysteem**

Om tijdens en na een ongeval waarbij zodanige kernschade opgetreden is dat ten gevolge van de uit de kern vrijgekomen activiteit het normale monsternamesysteem (TV, zie paragraaf 6.6.12) niet meer bruikbaar is, inzicht te kunnen krijgen in welke mate de integriteit van de kern is aangetast en hoeveel radioactiviteit er uit de splijtstof is vrijgekomen, is er een ongevals-gas- en een ongevals-vloeistofmonsternamesysteem geïnstalleerd.

Het ongevals-gasmonsternamesysteem biedt de mogelijkheid om op diverse plaatsen in zowel de installatieruimte als de bedrijfsruimte hoog-radioactieve gasmonsters te nemen.

Het ongevals-vloeistofmonsternamesysteem biedt de mogelijkheid om hoog-radioactieve vloeistofmonsters te nemen uit het primair systeem of uit een leiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ).

Ten behoeve van de bewerking en analyse van bovengenoemde hoog-radioactieve monsters is op het terrein van de kernenergiecentrale een laboratorium ingericht.

De situering en technische uitvoering van de benodigde voorzieningen zijn zodanig gekozen dat de doses ten gevolge van monsternamen- en -analyse binnen de geldende limieten blijven.

INHOUDSOPGAVE

7.	VEILIGHEIDSANALYSES	7-4
7.1	DETERMINISTISCHE VEILIGHEIDSANALYSES	7-5
7.2	BEGINGEBEURTENISSEN	7-7
7.2.1	Inleiding.....	7-7
7.2.2	Begingebourtenissen (basislijst)	7-7
7.2.3	Begingebourtenissen (aanvullende lijst)	7-12
7.3	(ONDERBOUWING) REPRESENTATIEVE BEGINGEBEURTENISSEN	7-16
7.3.1	Inleiding.....	7-16
7.3.2	Representatieve begingebourtenissen (basislijst)	7-17
7.3.2.1	Verhoogde warmte-afvoer door het secundair systeem.....	7-17
7.3.2.2	Verminderde warmte-afvoer door het secundair systeem.....	7-18
7.3.2.3	Vermindering van het debiet in het primair systeem	7-20
7.3.2.4	Verandering van de druk in het primair systeem	7-20
7.3.2.5	Onbedoelde verandering reactiviteit en vermogensverdeling.....	7-21
7.3.2.6	Toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel	7-22
7.3.2.7	Lekkages van hoofdkoelmiddel	7-22
7.3.2.8	Ontsnappen radioactieve stoffen uit systemen of componenten	7-25
7.3.2.9	Externe invloeden	7-26
7.3.2.10	Diversen	7-27
7.3.3	Representatieve begingebourtenissen (aanvullende lijst)	7-28
7.3.3.1	Normaal bedrijf en storingen.....	7-28
7.3.3.2	Ontwerpongevallen	7-30
7.4	THERMOHYDRAULISCHE ANALYSES	7-35
7.4.1	Inleiding.....	7-35
7.4.2	Uitgangspunten en randvoorwaarden.....	7-35
7.4.3	Rekenmodellen	7-36
7.4.4	Thermohydraulische analyses voor representatieve begingebourtenissen.....	7-36
7.4.4.1	Onbedoeld openen van appendages (o.a. afsluiters, afregel- en veiligheidskleppen) in de secundaire kringloop (PIE 1.4)	7-36
7.4.4.2	Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)	7-41
7.4.4.3	Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (PIE 1.5.6)	7-47
7.4.4.4	TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)	7-53
7.4.4.5	Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2).....	7-57
7.4.4.6	Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)	7-63
7.4.4.7	Breuk of blokkade van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)	7-67
7.4.4.8	Onbedoeld uittrekken van regelstaven (PIE 5.1)	7-74
7.4.4.9	Uitworp van de meest effectieve regelstaaf (PIE 5.2)	7-78
7.4.4.10	Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)	7-82
7.4.4.11	Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2)	7-86

	7.4.4.12	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2)	7-89
	7.4.4.13	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3).....	7-95
	7.4.4.14	Lekkage van 20 cm ² in het reactorvat, beneden de bovenkant van de kern (PIE D3-27 / 7.2.5)	7-99
	7.4.4.15	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2).....	7-102
	7.4.4.16	Gevolgen van een aardbeving op gebouwen en systemen aardbevingsklasse I (PIE 9.1.1)	7-108
	7.4.4.17	Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 10.2)	7-113
	7.4.4.18	Bedrijfstransiënten waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (PIE 10.5)...	7-115
7.5	RADIOLOGISCHE ANALYSES		7-120
	7.5.1	Definities	7-120
	7.5.2	Inleiding.....	7-121
	7.5.3	Uitgangspunten en randvoorwaarden.....	7-122
	7.5.3.1	Brontermen	7-122
	7.5.3.2	Effectieve dosis	7-127
	7.5.4	Rekenmodel.....	7-128
	7.5.4.1	Invoergegevens	7-128
	7.5.4.2	Berekeningswijze	7-129
	7.5.5	Radiologische analyses voor representatieve begingebourtenissen	7-130
	7.5.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdcooling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen (PIE 1.5.1).....	7-130
	7.5.5.2	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2)	7-133
	7.5.5.3	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3).....	7-137
	7.5.5.4	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig) (PIE 7.3.2.2)	7-145
	7.5.5.5	Lekkage van een meetleiding die hoofdcoolingmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling (PIE 7.4.2).....	7-148
	7.5.5.6	Lekkage in een leiding van het afgassysteem (PIE 8.2).....	7-151
	7.5.5.7	Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren (PIE 8.4.1).....	7-153
	7.5.5.8	Gevolgen van een aardbeving op het reactorgebouw (PIE 9.1.2)	7-154
	7.5.5.9	Externe bestraling vanuit reactorgebouw (directe straling)	7-156
7.6	OVERIGE DETERMINISTISCHE ANALYSES		7-159
	7.6.1	Inleiding.....	7-159
	7.6.2	Overige deterministische analyses voor representatieve begingebourtenissen.....	7-159
	7.6.2.1	Vorming van laag-geboreerde gebieden in het primair systeem (interne verdunning) (PIE D3-20)	7-159
	7.6.2.2	Breuk van een regelstaafbehuizing met uitwerp van een regelstaaf (D3-42)	7-159
	7.6.3	Containmentanalyses	7-160
	7.6.3.1	Minimale lekdebieten voor het aanspreken van het 30 mbar signaal.....	7-160
	7.6.3.2	Druk- en temperatuurverloop in de veiligheidsomhulling bij een lekkage in het primair systeem	7-161

	7.6.3.3	Druk- en temperatuurverloop in de veiligheidsomhulling bij een lekkage in het secundair systeem.....	7-161
7.7		VEILIGHEIDSANALYSES VOOR BUITENONTWERPONGEVALLEN	7-163
	7.7.1	Inleiding.....	7-163
	7.7.2	Aanvullende begingebourtenissen.....	7-163
	7.7.2.1	Begingebourtenissen ten aanzien van het reactorsysteem.....	7-163
	7.7.2.2	Begingebourtenissen ten aanzien van het splijststofopslagbassin	7-171
	7.7.3	Ongevulsbeheerstrategieën.....	7-172
	7.7.3.1	Primaire bleed & feed bij verlies van secundaire warmte afvoer	7-172
	7.7.3.2	Secundaire bleed & feed bij volledig verlies van voedingswater	7-173
7.8		PROBABILISTISCHE VEILIGHEIDSANALYSES	7-175
	7.8.1	Inleiding.....	7-175
	7.8.2	PSA-methodiek.....	7-175
	7.8.3	(L)PSA-model KCB	7-176
	7.8.3.1	Niveau 1	7-176
	7.8.3.2	Niveau 2	7-177
	7.8.3.3	Niveau 3	7-178
	7.8.3.4	Onzekerheden	7-178
	7.8.4	Resultaten	7-178
	7.8.4.1	Niveau 1	7-179
	7.8.4.2	Niveau 2	7-179
	7.8.4.3	Niveau 3	7-184
7.9		SAMENVATTING EN CONCLUSIE VEILIGHEIDSANALYSES	7-186
	7.9.1	Inleiding.....	7-186
	7.9.2	Begingebourtenissen	7-186
	7.9.3	Deterministische veiligheidsanalyses	7-187
	7.9.3.1	Thermohydraulische analyses	7-187
	7.9.3.2	Radiologische analyses	7-190
	7.9.3.3	Analyses voor buitenontwerpingevallen	7-190
	7.9.4	Probabilistische veiligheidsanalyses.....	7-191
	7.9.4.1	PSA.....	7-191
	7.9.4.2	Resultaten m.b.t. individueel risico en groepsrisico.....	7-191
	7.9.5	Conclusie	7-193

7. VEILIGHEIDSANALYSES

Veiligheidsanalyses zijn uitgevoerd om de beheersing van veronderstelde begingebourtenissen op basis van veiligheidscriteria en door de overheid vastgestelde limieten ten aanzien van lozingen van radioactieve stoffen in de atmosfeer en ten aanzien van stralingsdosis te kunnen aantonen.

De veiligheidsanalyses kunnen zowel deterministisch als probabilistisch van aard zijn. De deterministische analyses beschrijven, voor gegeven bedrijfstoestanden en ongevalscondities, het gedrag van de installatie op een zo realistisch mogelijke wijze. In het algemeen zijn deze analyses, vanwege de conservatief gekozen uitgangspunten en randvoorwaarden, conservatief of afdekkend van aard en bedoeld als bevestiging van de ontwerpbasis van de installatie. Probabilistische analyses zijn gericht op het identificeren en kwantificeren van risico's om de evenwichtigheid van een goed ontwerp van de installatie te kunnen aantonen. De deterministische en probabilistische analyses vullen elkaar aan voor wat betreft de verificatie van de ontwerpbasis en de toetsing ten aanzien van de eerdergenoemde criteria en limieten.

De deterministische veiligheidsanalyses worden behandeld in paragraaf 7.1 t/m paragraaf 7.7; de probabilistische analyses in paragraaf 7.8. Een samenvatting van de veiligheidsanalyses is opgenomen in paragraaf 7.9.

7.1 DETERMINISTISCHE VEILIGHEIDSANALYSES

In paragraaf 7.1 t/m paragraaf 7.7 worden de deterministische veiligheidsanalyses behandeld, zoals deze zijn uitgevoerd om de beheersing van veronderstelde begingebourtenissen op basis van veiligheidscriteria en door de overheid vastgestelde limieten ten aanzien van lozingen van radioactieve stoffen in de atmosfeer en ten aanzien van stralingsdosis te kunnen aantonen.

De opbouw van hoofdstuk 7 is als volgt: in paragraaf 7.2 zijn de veronderstelde begingebourtenissen voor de KCB gedefinieerd. Het betreft een volledig spectrum van begingebourtenissen dat normaal bedrijf, storingen, ontwerp-, en buitenontwerpongevallen afdekt.

Het is niet noodzakelijk om elke begingebourtenis in detail te analyseren. Begingebourtenissen mogen worden gegroepeerd en per groep kan een afdekkende, of representatieve, gebeurtenis worden gedefinieerd. Daarom is in paragraaf 7.3 de lijst met representatieve begingebourtenissen, en de onderbouwing daarvan, opgenomen.

Opmerking:

In paragraaf 7.2 en paragraaf 7.3 is onderscheid gemaakt naar een basislijst met begingebourtenissen en een aanvullende lijst. De basislijst correspondeert met de lijst met begingebourtenissen zoals opgenomen in het eerdere Veiligheidsrapport VR-KCB93.

Op basis van de huidige stand der techniek zijn een aantal aanvullende begingebourtenissen gedefinieerd, welke zijn opgenomen in de aanvullende lijst.

Door onderscheid te maken tussen de basislijst en de aanvullende lijst blijft het duidelijk welke begingebourtenissen de basis vormen voor het (oorspronkelijk) ontwerp van de KCB en welke begingebourtenissen later zijn toegevoegd.

De begingebourtenissen zijn ingedeeld naar de kans van optreden. Dat wil zeggen dat onderscheid gemaakt wordt naar:

- normaal bedrijf (Cat. 1 "Normal operation");
- storingen (Cat. 1 "Anticipated operational occurrences");
- ontwerpongevallen (Cat. 2 "Design Basis Accidents");
- buitenontwerpongevallen (Cat. 3 "Beyond Design Basis Accidents");
- ernstige ongevallen (Cat. 4 "Severe Accidents").

Categorie 1 omvat de normale bedrijfstoestanden waarbij binnen gespecificeerde grenzen bedrijf wordt gevoerd of waarbij afwijkingen (storingen) kunnen optreden die echter niet tot aanzienlijke schade aan veiligheidsrelevante systemen of componenten, of tot ongevalscondities zullen leiden (kans van optreden $10^{-2} - 1$ /reactor/jaar).

Categorie 2 omvat de ontwerpongevallen die weliswaar op grond van algemene technische ervaringen niet te verwachten zijn tijdens de bedrijfsduur van de installatie, maar die toch niet uitgesloten kunnen worden (kans van optreden $10^{-4} - 10^{-2}$ /reactor/jaar).

Categorie 3 omvat de buitenontwerpongevallen waarvan het onwaarschijnlijk is dat deze zullen optreden (kans van optreden $10^{-6} - 10^{-4}$ /reactor/jaar). Om deze reden wordt bij het ontwerp voor de buitenontwerpongevallen uitsluitend beschouwd hoe met redelijke middelen het resterende risico verminderd kan worden.

Categorie 4 omvat de ernstige gevallen die nog onwaarschijnlijker zijn (kans van optreden $< 10^{-6}$ /reactor/jaar). Voor deze categorie ongevallen zijn in het algemeen geen specifieke voorzieningen

getroffen, maar de gevolgen worden beheerst middels “Accident Management maatregelen” (zie paragraaf 6.11).

De analyses van de begingebourtenissen behorende tot de categorie normaal bedrijf, storingen en ontwerpongevallen worden behandeld in paragraaf 7.4 voor wat betreft de thermohydraulische analyses en in paragraaf 7.5 voor wat betreft de radiologische analyses. In paragraaf 7.6 worden enkele andersoortige analyses behandeld, waaronder de containmentanalyses ter verificatie van bepaalde onderliggende uitgangspunten. In paragraaf 7.7 worden de buitenontwerpongevallen behandeld.

Opmerking:

De ernstige ongevallen zijn in paragraaf 7.8 als onderdeel van de probabilistische veiligheidsanalyses opgenomen.

7.2 BEGINGEBEURTENISSEN

7.2.1 Inleiding

Hoewel bij het ontwerp van de installatie maatregelen zijn getroffen ter voorkoming van ongevallen, dient de installatie berekend te zijn op de beheersing van een aantal veronderstelde begingebourtenissen (PIE's: Postulated Initiating Events) die eventueel tot een ongeval zouden kunnen leiden. Veiligheidsanalyses zijn uitgevoerd om na te gaan of aan deze beschermingsdoelstelling is voldaan.

Een begingebourtenis is gedefinieerd als een veronderstelde gebeurtenis die kan leiden tot storings- of ongevalscondities. Hierbij kunnen bijvoorbeeld het falen van apparatuur, operatorfouten, of invloeden van buitenaf worden verondersteld.

In dit deel van het Veiligheidsrapport worden de veronderstelde begingebourtenissen voor de KCB gedefinieerd. Deze vormen een representatieve selectie uit een groot aantal hypothetisch mogelijke situaties. De selectie is gebaseerd op internationale normen/regelgeving en installatiespecifieke kenmerken.

De volledige lijst van begingebourtenissen is overeenkomstig de in paragraaf 7.1 beschreven opzet gesplitst naar een basislijst en een aanvullende lijst. De basislijst wordt behandeld in paragraaf 7.2.2; de aanvullende lijst in paragraaf 7.2.3.

7.2.2 Begingebourtenissen (basislijst)

In de basislijst zijn de begingebourtenissen ingedeeld naar de kans van optreden volgens de categorie-indeling beschreven in paragraaf 7.1 en onderverdeeld in de volgende groepen:

1. Verhoogde warmte-afvoer door het secundair systeem;
2. Verminderde warmte-afvoer door het secundair systeem;
3. Vermindering van het debiet in het primair koelsysteem;
4. Verandering van de druk in het primair koelsysteem;
5. Onbedoelde verandering van de reactiviteit en de vermogensverdeling;
6. Toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel;
7. Lekkages van hoofdkoelmiddel;
8. Ontsnappen van radioactieve stoffen uit subsystemen of componenten;
9. Externe invloeden;
10. Diversen.

De in de basislijst opgenomen, voor de KCB relevante, begingebourtenissen zijn in tabel 7.2.2/1 volgens bovenstaande groepen ingedeeld. Uit deze relevante begingebourtenissen is een aantal begingebourtenissen geselecteerd dat in zijn geheel ten aanzien van de in paragraaf 5.1 genoemde doelstellingen representatief is voor alle in tabel 7.2.2/1 vermelde begingebourtenissen (zie paragraaf 7.3). Deze representatieve begingebourtenissen zijn in tabel 7.2.2/1 gemarkeerd (grijze achtergrond). Daarbij is tevens middels een "T", "R", of een "A" in de derde kolom aangegeven of deze op thermohydraulische, radiologische of andersoortige (bijvoorbeeld uitwerking op veiligheidsomhulling en ongevalsbestendige apparatuur) effecten geanalyseerd zijn. De resultaten van deze analyses zijn in paragraaf 7.4, paragraaf 7.5, respectievelijk paragraaf 7.6 beschreven.

Tabel 7.2.2/1 Basislijst van veronderstelde begingebourtenissen (PIE's)

PIE	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
1	Verhoogde warmte-afvoer door het secundair systeem	
1.1	Storing in het voedingswatersysteem, die een daling van de voedingswatertemperatuur tot gevolg heeft	
1.2	Storing in het voedingswatersysteem, die een vergroting van voedingswaterdebiet tot gevolg heeft	
1.3	Storing in de regeling, die een vergroting van het hoofdstoomdebiet tot gevolg heeft	
1.4	Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen)	T
1.5	Lekkages respectievelijk leidingbreuken in het hoofdstoomsysteem (RA)	
1.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekage van stoomgeneratorpijpen	R
1.5.2	Kleine lekkages van het hoofdstoomsysteem	
1.5.3	Lekkage van de hoofdstoomleiding buiten de veiligheidsomhulling bij bedrijfslekage van stoomgeneratorpijpen	
1.5.4	Brek in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters	T
1.5.5	Brek in de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling	
1.5.6	Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling	T, A
1.5.7	Lekkage van de hoofdstoomleiding in de ringruimte	
1.5.8	Brek in een hoofdstoomleiding na de hoofdstoomafsluiters buiten de veiligheidsomhulling, zonder dat er sprake is van lekkage van een stoomgeneratorpijp	
2	Verminderde warmte-afvoer door het secundair systeem	
2.1	Storing in de regeling, die leidt tot een vermindering van het hoofdstoomdebiet	
2.2	Lastafschakeling op eigenbedrijf	
2.3	Turbinesnelafschakeling (TUSA)	
2.3.1	TUSA met opening van de turbine-omloopleiding	
2.3.2	TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding	T
2.4	Onbedoeld sluiten van de hoofdstoomafsluiters	
2.5	Uitval van de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf (noodstroomsituatie)	
2.5.1	Kortstondige noodstroomsituatie (< 30 minuten)	
2.5.2	Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten)	T
2.6	Storing in de voedingswatervoorziening	
2.6.1	Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen	T
2.6.2	Onbedoeld sluiten van appendages	
2.6.3	Verlies van de inhoud van de voedingswatertank	
2.7	Lekkages en breuken in het voedingswatersysteem	
2.7.1	Kleine lekkage in leidingen van het voedingswatersysteem waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft	
2.7.2	Brek in leidingen van het voedingswatersysteem waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen niet mogelijk is	

PIE	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
2.7.3	Rondgaande scheur of scheur in de lengterichting van een voedingswaterleiding binnen het reactorgebouw of ringruimte	
2.7.4	Lekkage van de voedingswaterleiding in de ringruimte	
2.7.5	Uitval van de noodvoedingswaterpompen	
2.7.6	Brek in een noodvoedingswaterleiding	
3	Vermindering van het debiet in het primair systeem	
3.1	Uitvallen van één of beide hoofdkoelmiddelpompen	
3.2	Brek of blokkade van een hoofdkoelmiddelpomp	T
4	Verandering van de druk in het primair systeem	
4.1	Daling van de druk door onbedoeld sproeien in de drukhouder	
4.2	Stijging van de druk door onbedoeld inschakelen van de drukhouderverwarming	
5	Onbedoelde verandering van de reactiviteit en de vermogensverdeling	
5.1	Onbedoeld uittrekken van regelstaven	T
5.2	Uitworp van de meest effectieve regelstaaf	T
5.3	Onbedoelde verandering van de concentratie geboreerd water van het hoofdkoelmiddel	
5.4	Plaatsing van en inbedrijfname met een slijptofelement in een verkeerde positie	
5.5	Onbedoeld bijschakelen van een hoofdkoelmiddelpomp	
5.6	Toevoer van koud water in het primair systeem vanuit aangrenzende systemen	
5.7	Loslaten van afzetting met geboreerd water	
5.8	Onbedoeld laten vallen respectievelijk inbrengen van een regelstaaf	
6	Toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel	
6.1	Onbedoeld voeden door de noodkoelsystemen	
6.2	Storing in of onbedoeld bijkomen van het volumeregelsysteem met als gevolg een toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel	
7	Lekkages van hoofdkoelmiddel	
7.1	Onbedoeld openen van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder	
7.1.1	Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder	T
7.1.2	Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder	T
7.2	Lekkages en breuken in het primair systeem	
7.2.1	Kleine lekkage van het primair systeem, waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft	
7.2.2	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling	T, R
7.2.3	Brek van de hoofdkoelmiddelleiding	T, R, A
7.3	Beschadigingen aan stoomgeneratoren	
7.3.1	Lekkages van stoomgeneratorpijpen	

PIE	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
7.3.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen	T
7.3.2.1	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen zonder dat er sprake is van een noodstroomsituatie	
7.3.2.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)	R
7.4	Lekkages buiten de veiligheidsomhulling	
7.4.1	Lekkage van het volumeregelsysteem buiten de veiligheidsomhulling	
7.4.2	Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling	R
7.4.3	Lekkage van het nakoelsysteem op een willekeurige plaats in de ringruimte tijdens de afvoer van restwarmte	
8	Ontsnappen van radioactieve stoffen uit subsystemen of componenten	
8.1	Storingen in het systeem voor afgassen en afvalwater	
8.2	Lekkage in een leiding van het afgassysteem	R
8.3	Lekkage van een reservoir met radioactief besmet water	
8.4	Storingen bij het hanteren en opslaan van splijtstofelementen	
8.4.1	Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren	R
8.4.2	Val van een transportcontainer met splijtstofelementen buiten de veiligheidsomhulling	
8.4.3	Val van een zware last, met inbegrip van een transportcontainer voor splijtstofelementen, op het splijtstofopslagbassin	
8.4.4	Verlies van water uit het splijtstofopslagbassin	
9	Externe invloeden	
9.1	Aardbeving (met inbegrip van gevolgschade)	
9.1.1	Gevolgen van een aardbeving op gebouwen en systemen aardbevingsklasse I	T
9.1.2	Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw	R
9.2	Neerstorten van een vliegtuig	
9.3	Externe explosies	
9.4	Ongeval met schadelijke chemische stoffen	
9.5	Brand buiten de centrale	
9.6	Hoogwater	
9.7	Blikseminslag	
9.8	Overige door de natuur veroorzaakte invloeden	
10	Diversen	
10.1	Gevolgen van een turbinestoring	
10.2	Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling	T
10.3	Branden en explosies in de centrale	
10.4	Overstroming in veiligheidsrelevante gebouwen	
10.5	Bedrijfstransiënten waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS)	T
10.6	Lekkage van de stoomgeneratorspuileiding in de ringruimte	
10.7	Lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in het	

PIE	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
10.8	reactorgebouw Lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in andere gebouwen (bijvoorbeeld het machinegebouw)	
10.9	Lekkage van andere systemen met een hoogenergetische inhoud in veiligheidsrelevante gebouwen	

T: Thermohydraulische analyse

R: Radiologische analyse

A: Andersoortige analyse

7.2.3 Begingebourtenissen (aanvullende lijst)

In de aanvullende lijst zijn de begingebourtenissen gecategoriseerd naar de kans van optreden. Dat wil zeggen dat onderscheid wordt gemaakt naar normaal bedrijf/storingen, ontwerpgevallen en buitenontwerpgevallen. Daarnaast is onderscheid gemaakt naar begingebourtenissen die betrekking hebben op het reactorsysteem en begingebourtenissen die betrekking hebben op het splijstofopslagbassin.

Opmerking:

De ernstige ongevallen worden in paragraaf 7.8 als onderdeel van de probabilistische veiligheidsanalyses behandeld.

De in de aanvullende lijst opgenomen, voor de KCB relevante, begingebourtenissen zijn in tabel 7.2.3/1 volgens bovenstaande categorieën ingedeeld. Indien een begingebourtenis niet wordt afgedekt door een representatieve begingebourtenis opgenomen in de basislijst (zie tabel 7.2.2/1), dan is deze als representatieve begingebourtenis toegevoegd (zie paragraaf 7.3). Deze toegevoegde representatieve begingebourtenissen zijn in tabel 7.2.3/1 gemarkeerd (grijze achtergrond). Daarbij is tevens middels een "T" of een "A" in de derde kolom aangegeven of deze op thermohydraulische of andersoortige (bijvoorbeeld verdunning of mechanische) effecten geanalyseerd zijn. De resultaten van deze analyses zijn in paragraaf 7.4, respectievelijk paragraaf 7.6 beschreven.

De buitenontwerpgevallen worden afzonderlijk in paragraaf 7.7 behandeld.

Tabel 7.2.3/1 Aanvullende lijst van veronderstelde begingebourtenissen (PIE's)

PIE	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
	Normaal bedrijf en storingen - reactorsysteem	
D2-16	Storing in het volumeregelsysteem met als gevolg een afname van de hoeveelheid koelmiddel	
D2-17	Niveaudaling tijdens mid-loop bedrijf	
D2-19	Uitval van een strang van het nakoelsysteem tijdens nakoelbedrijf	
D2-20	Uitschakeling van het volledige nakoelsysteem als gevolg van foutieve signalen (kortstondig)	
D2-21	Verstoring in de regeling van het reactorvermogen	
	Normaal bedrijf en storingen - splijststofopslagbassin	
B2-01	Uitval van een inbedrijf zijnde koelstrang of een ongeplande kortstondige onderbreking (max. 30 minuten) van de totale warmteafvoer	
B2-02	Lekkage van het splijststofopslagbassin of waterverlies via aansluitleidingen (max. doorsnede overeenkomstig DN25)	
B2-03	Noodstroomsituatie gedurende maximaal 10 uur	
B2-04	Verstoringen in de concentratie geboreerd water	
B2-05	Ongunstigste foutieve belading van het splijststofopslagbassin of transportcontainer met het meest reactieve splijststofelement	
	Ontwerpongevallen - reactorsysteem	
D3-01	Onbedoelde temperatuur- of drukverlaging in de stoomgenerator door ernstige storing in het hoofdstoomsysteem of het voedingswaterssysteem	
D3-02	Onbedoelde temperatuur- of drukverhoging in de stoomgenerator door ernstige storing in het hoofdstoomsysteem of het voedingswaterssysteem	
D3-04	Ontoelaatbare niveaustijging in stoomgenerator door storing in voedingswaterssysteem	
D3-08	Breuk in de hoofdstoomleiding na de hoofdstoomafsluiters in combinatie met het bezwijken van een stoomgeneratorpijp	
D3-11	Onbedoeld voeden van hoofdkoelmiddel vanuit operationele- of veiligheidssystemen in het geval dat begrenzingsmaatregelen ineffectief zijn	
D3-12	Niveaudaling tijdens mid-loop bedrijf en aansluitend uitval van nakoelpompen	
D3-13	Uitval van een strang van het nakoelsysteem tijdens nakoelbedrijf	
D3-14	Uitschakeling van het volledige nakoelsysteem als gevolg van foutieve signalen	
D3-15	Onbedoeld uittrekken van de meest effectieve regelstaaf of de meest effectieve regelelstaafgroep met verlies van begrenzingsystemen	
D3-17	Foutief beladen van de reactor kern met meer dan één splijststofelement	
D3-19	Onbedoelde verlaging van de concentratie geboreerd water van het hoofdkoelmiddel door foutieve injectie vanuit systemen met verlies van begrenzingsystemen (externe verdunning)	
D3-20	Vorming van laag-geboreerde gebieden in het primair systeem (interne verdunning)	A

PIE	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
D3-26	Lekkage van de aansluiting tussen hoofdkoelmiddelleiding en reactorvat	
D3-27	Lekkage van 20 cm ² in het reactorvat, beneden de bovenkant van de kern	T
D3-28	Lekkage in het gebied rond de reactorvatsluiting (deksel)	
D3-29	Lekkages door foutief onderhoud of foutieve schakelingen aan het primair systeem	
D3-33	Lekkages of breuken in warmtewisselaars die met hoofdkoelmiddel worden doorstroomd	
D3-35	Lekkage in systemen die tot overstroming van de ringruimte kunnen leiden	
D3-42	Brek van een regelstaafbehuizing met uitworp van een regelstaaf	A
PCC3-5	Kleine lekkage van het primair systeem (\leq DN50) inclusief een breuk in de injectieleiding met geboreerd water	
	Ontwerpongevallen - splijststofopslagbassin	
B3-01	Langdurige uitval (> 30 minuten) van twee koelstrangen van het splijststofopslagbassin	
B3-02	Lekkage van het splijststofopslagbassin met doorsnede overeenkomstig DN25 tot doorsnede grootste aansluitleidingen	
B3-03	Lekkage van het reactorbassin met geopende sluis	
B3-04	Interne lekkage van met koelmiddel doorstroomde warmtewisselaars van het splijststofopslagbassin	
B3-05	Noodstroomsituatie gedurende meer dan 10 uur	
B3-06	Indringing van water of stoom in de droge opslag voor onbestraalde splijststofelementen	
B3-07	Geometrische veranderingen van het splijststofopslagbassin of droge opslag als gevolg van invloeden van buiten	
B3-08	Val van een splijststofelement in het splijststofopslagbassin	
B3-09	Foutief beladen van het splijststofopslagbassin of transportcontainer met meer dan één splijststofelement	
B3-10	Onbedoelde verlaging van de concentratie geboreerd water in het splijststofopslagbassin	
	Buitenontwerpongevallen - reactorsysteem	
D4a-01	ATWS met uitval van mogelijkheid om warmte af te voeren door bijvoorbeeld verlies van condensorvacuüm of sluiten van hoofdstoomafsluiters, tijdens eilandbedrijf	
D4a-02	ATWS met uitval van mogelijkheid om warmte af te voeren en uitval eigen spanningsvoorziening	
D4a-03	ATWS met maximale stoomafname door bijvoorbeeld het openen van de omloop- of veiligheidskleppen	
D4a-04	ATWS met volledige uitval van de hoofdvoedingswatervoorziening	
D4a-05	ATWS met maximale afname van het hoofdkoelmiddeldebiet	
D4a-06	ATWS met maximale reactiviteitstoename door het uittrekken van regelstaven of regelstaafgroepen uitgaande van de bedrijfstoestanden vollast of warm onderkritisch	
D4a-07	ATWS met drukontlasting door onbedoeld openen van een drukhouderveiligheidsklep	

PIE	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
D4a-08	ATWS met maximale afname van de reactorintredetemperatuur als gevolg van een fout in de een van de actieve componenten van de voedingswatervoorziening	
F-2-R	Station black out (SBO; volledige uitval van alle spanningsvoorziening met uitzondering van batterijvoedingen)	
F-3	Volledig verlies van voedingswater	
F-4	Lekkage in het primair systeem met uitval van een volledige strang van het veiligheidsinjectiesysteem	
F-6-R	Volledig verlies van het tussenkoelwatersysteem	
F-9-R	Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren	
F-11	Bezwijken van meerdere stoomgeneratorpijpen	
F-12-R	Op lange termijn verlies van veiligheidssystemen na het optreden van een veronderstelde begingebourtenis	
	Buitenontwerpongevallen - splijtstofopslagbassin	
F-2-S	Station black out (SBO; volledige uitval van alle spanningsvoorziening met uitzondering van batterijvoedingen)	
F-6-S	Volledig verlies van het tussenkoelwatersysteem	
F-9-S	Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren	
F-12-S	Op lange termijn verlies van veiligheidssystemen na het optreden van een veronderstelde begingebourtenis	

T: Thermohydraulische analyse

A: Andersoortige analyse

7.3 (ONDERBOUWING) REPRESENTATIEVE BEGINGEBEURTENISSEN

7.3.1 Inleiding

In paragraaf 7.2 is een volledig spectrum van begingebourtenissen (PIEs') geïdentificeerd. Het is echter niet noodzakelijk om elke begingebourtenis in detail te analyseren. Ter vereenvoudiging van de bewijsvoering dat aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan, worden afdekkende of representatieve begingebourtenissen geanalyseerd.

Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de begingebourtenissen in categorieën, zoals storingen, ontwerpgevallen of buitenontwerpgevallen, ingedeeld kunnen worden op grond van de beschermingsdoelstellingen waaraan bij de betreffende begingebourtenissen dient te worden voldaan.

Zo geldt bijvoorbeeld:

- dat bij de analyses van storingen aangetoond dient te worden dat deze storingen zich niet tot ongevallen zullen uitbreiden. Daarvoor is het nodig dat de beschermingsdoelstellingen waaraan bij storingen moet worden voldaan, voldoende beperkend zijn. In het geval van een storing kan, na het opheffen van de oorzaak en de gevolgen van de storing, de installatie onverwijd zonder beperkingen verder bedreven worden. Bij dergelijke gebeurtenissen is daarom bijvoorbeeld filmkoken slechts in beperkte omvang toelaatbaar terwijl de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk de maximaal toelaatbare waarden (voor beide 1,1 x ontwerpdruk) niet mogen overschrijden;
- dat bij ontwerpgevallen er vanuit gegaan dient te worden dat de installatie niet zonder meer opnieuw in bedrijf genomen kan worden. Dit houdt in dat de gevolgen voor de installatie groter mogen zijn. Daarom geldt voor deze gebeurtenissen in principe dat bijvoorbeeld filmkoken toelaatbaar is mits de temperatuur van de splijststofomhulling de toegestane maximale waarde niet overschrijdt, en dat de hoofdkoelmiddeldruk ongeveer 1,3 keer de ontwerpdruk mag bedragen;
- dat bij buitenontwerpgevallen voldaan moet worden aan minder beperkende beschermingsdoelstellingen dan bij ontwerpgevallen. Tot deze categorie gebeurtenissen behoren de bedrijfstransiënten waarbij het uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling (ATWS) aangenomen wordt. ATWS wordt geanalyseerd ten behoeve van het minimaliseren van het risico.

De hierboven beschreven trapsgewijze indeling wordt internationaal gehanteerd.

Bij de werkwijze met representatieve begingebourtenissen wordt zoveel mogelijk voor een groep gebeurtenissen een afdekkende gebeurtenis vastgesteld. Voor deze afdekkende (representatieve) gebeurtenis gelden de strengste beschermingsdoelstellingen van de afgedekte gebeurtenissen. Bovendien worden ten behoeve van een voldoende conservatieve afdekking de ongunstigste randvoorwaarden en uitgangspunten van de afdekkende gebeurtenissen gehanteerd.

Conform de opzet van paragraaf 7.2 is in eerste instantie een overzicht van representatieve begingebourtenissen voor de basislijst opgesteld. De onderbouwing voor de totstandkoming van dit overzicht is beschreven in paragraaf 7.3.2. Vervolgens is getoetst of de gebeurtenissen opgenomen in de aanvullende lijst voor wat betreft normaal bedrijf/storingen en ontwerpgevallen worden afgedekt door de lijst van representatieve begingebourtenissen of dat deze moeten worden toegevoegd. De onderbouwing hiervan is beschreven in paragraaf 7.3.3. De buitenontwerpgevallen opgenomen in de aanvullende lijst worden afzonderlijk in paragraaf 7.7 behandeld.

7.3.2 Representatieve begingebourtenissen (basislijst)

In deze paragraaf wordt voor de afzonderlijke categorieën de selectie beschreven van de representatieve (afdekkende) begingebourtenissen waarvan de gevolgen geanalyseerd zijn.

Van de veronderstelde begingebourtenissen behorende tot de categorieën 9 (externe invloeden) en 10 (overigen) is slechts een deel relevant voor het thermohydraulische en radiologische gedrag van de installatie. Daarom worden alleen van deze relevante begingebourtenissen in paragraaf 7.4 en paragraaf 7.5 de resultaten van de analyses gepresenteerd. De andere begingebourtenissen uit deze categorieën worden beheerst of verhinderd doordat specifieke maatregelen zijn getroffen zoals het constructieve ontwerp van de installatie met het oog op externe invloeden, maatregelen ten behoeve van de brandpreventie en een storingsvrij ontwerp van de voor de veiligheid belangrijke elektronische en meet- en regeltechnische componenten.

7.3.2.1 Verhoogde warmte-afvoer door het secundair systeem

7.3.2.1.1 Begingebourtenissen zonder lekkages respectievelijk leidingbreuken

- storing in het voedingswatersysteem, die een daling van de voedingswatertemperatuur tot gevolg heeft (PIE 1.1);
- storing in het voedingswatersysteem, die een vergroting van het voedingswaterdebiet tot gevolg heeft (PIE 1.2);
- storing in de regeling die een vergroting van het hoofdstoomdebiet tot gevolg heeft (PIE 1.3);
- onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (PIE 1.4).

Representatieve begingebourtenis

Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (PIE 1.4).

Toelichting

Het afkoelen van de waterinhoud van de stoomgenerator door een lage temperatuur van het voedingswater (PIE 1.1) of een vergroot voedingswaterdebiet (PIE 1.2) is een langzaam proces met een beperkte uitwerking. Door een verhoogde stoomafname kan meer vermogen uit de stoomgeneratoren afgevoerd worden dan door het verlagen van de voedingswatertemperatuur. Een storing in de hoofdstoomregeling (PIE 1.3) kan in het uiterste geval een volledig openen van de veiligheidskleppen tot gevolg hebben en wordt daarom eveneens door PIE 1.4 afgedekt.

7.3.2.1.2 Begingebourtenissen met radiologisch niet-relevante lekkages respectievelijk leidingbreuken in het hoofdstoomsysteem (RA)

- kleine lekkages van het hoofdstoomsysteem (PIE 1.5.2);
- breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4);
- breuk in de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (PIE 1.5.5);
- lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (PIE 1.5.6);
- lekkage van de hoofdstoomleiding in de ringruimte (PIE 1.5.7);
- breuk in een hoofdstoomleiding na de hoofdstoomafsluiters buiten de veiligheidsomhulling, zonder dat er sprake is van lekkage van een stoomgeneratorpijp (PIE 1.5.8).

Representatieve begingebourtenis

- breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4);
- lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (PIE 1.5.6).

Toelichting

De PIE's 1.5.2 en 1.5.6 betreffen kleine lekkages die slechts een geringe afkoeling van het primair systeem geven en daardoor afgedekt zijn door het onbedoeld openen en open blijven van appendages van het secundair systeem (PIE 1.4). PIE 1.5.6 is desondanks geanalyseerd omdat deze begingebourtenis mogelijk bepalend is voor de maximale druk en temperatuur die in de veiligheidsomhulling kan optreden. Voor deze begingebourtenis is daarom een containmentanalyse (zie paragraaf 7.6) uitgevoerd om aan te tonen dat de functionaliteit van de veiligheidsomhulling (vrijkomen van radioactieve stoffen naar de omgeving beperken) en de functionaliteit van de ongevalbestendige apparatuur bij secundaire lekkages is gewaarborgd.

De PIE 1.5.5 blijft buiten beschouwing, omdat een breuk in de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling is uitgesloten op grond van het principe "lek voor breuk" (zie paragraaf 5.1); evenzo blijft PIE 1.5.7 buiten beschouwing vanwege de toepassing van een mantelbuis voor de hoofdstoomleiding in de ringruimte (zie paragraaf 6.3).

De PIE 1.5.8 heeft in vergelijking tot PIE 1.5.4 een gelijke of geringere afkoeling van het primair systeem tot gevolg, aangezien de lekkage ofwel dezelfde omvang heeft als bij de in PIE 1.5.4 beschreven begingebourtenis ofwel afgesloten kan worden.

7.3.2.1.3 Begingebourtenissen met radiologisch relevante lekkages respectievelijk leidingbreuken in het hoofdstoomsysteem (RA)

- langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen (PIE 1.5.1);
- lekkage van de hoofdstoomleiding buiten de veiligheidsomhulling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen (PIE 1.5.3).

Representatieve begingebourtenis

Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen (PIE 1.5.1)

Toelichting

De PIE's 1.5.1 en 1.5.3 zijn systeemtechnisch gezien niet relevant en worden volledig beheerst door de veiligheidssystemen; zij behoeven daarom niet thermohydraulisch te worden geanalyseerd.

Bij PIE 1.5.1 komt de maximale hoeveelheid radioactief besmette stoom vrij en deze is daarom radiologisch afdekkend voor PIE 1.5.3.

7.3.2.2 Verminderde warmte-afvoer door het secundair systeem

7.3.2.2.1 Begingebourtenissen met vermindering van het hoofdstroomdebiet

- storing in de regeling, die leidt tot een vermindering van het hoofdstroomdebiet (PIE 2.1);
- lastafschakeling op eigenbedrijf (PIE 2.2);

- turbinesnelafschakeling (TUSA) met opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.1);
- TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2);
- onbedoeld sluiten van hoofdstoomafsluiters (PIE 2.4);
- kortstondige noodstroomsituatie (< 30 minuten) (PIE 2.5.1);
- langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2).

Representatieve begingebourtenissen

- TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2);
- langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2).

Toelichting

Bij beide representatieve begingebourtenissen is de vermindering van het hoofdstoomdebiet en daardoor ook de stijging van de druk en de temperatuur van de hoofdstoom maximaal.

De PIE's 2.1, 2.2, 2.3.1 en 2.4 hebben elk een geringere stijging van de druk en de temperatuur in het secundair systeem tot gevolg dan PIE 2.3.2, omdat bij deze laatste alle hoofdstoom direct via de hoofdstoomafblaasregelkleppen naar de atmosfeer afgevoerd moet worden. In het geval dat beide hoofdstoomafsluiters onbedoeld sluiten (PIE 2.4) vindt een soortgelijke vermindering van hoofdstoomdebiet plaats, echter de verhoging van hoofdstoomdruk en -temperatuur is lager dan bij PIE 2.3.2: het sluiten van de hoofdstoomafsluiters duurt 40 seconden terwijl de turbinesneluitlekken in 0,5 seconden sluiten. Dientengevolge wordt het hoofdstoomdebiet bij PIE 2.3.2 sneller gereduceerd dan bij PIE 2.4.

De kortstondige noodstroomsituatie (PIE 2.5.1) wordt door de langdurige noodstroomsituatie (PIE 2.5.2) afgedekt. PIE 2.5.2 wordt onafhankelijk van PIE 2.3.2 geanalyseerd omdat de langdurige noodstroomsituatie meer gevolgen heeft (bijvoorbeeld uitvallen van voedingswaterpompen). Het verloop van het ongeval is daarom verschillend.

7.3.2.2.2 Begingebourtenissen met vermindering van het voedingswaterdebiet

- uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1);
- onbedoeld sluiten van appendages (PIE 2.6.2);
- verlies van de inhoud van de voedingswatertank (PIE 2.6.3);
- kleine lekkage in leidingen van het voedingswatersysteem, waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft (PIE 2.7.1);
- breuk in leidingen van het voedingswatersysteem, waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen niet mogelijk is (PIE 2.7.2);
- rondgaande scheur of scheur in de lengterichting van een voedingswaterleiding binnen het reactorgebouw of ringruimte (PIE 2.7.3);
- lekkage van de voedingswaterleiding in de ringruimte (PIE 2.7.4);
- uitval van de noodvoedingswaterpompen (PIE 2.7.5);
- breuk in een noodvoedingswaterleiding (PIE 2.7.6).

Representatieve begingebourtenis

Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1).

Toelichting

De PIE's 2.6.2, 2.6.3 en 2.7.1 betreffen een inleidende gebeurtenis waarbij slechts een deel van de voedingswatervoorziening uitvalt en worden derhalve afgedekt door PIE 2.6.1, waarbij alle hoofdvoedingswaterpompen uitvallen.

De PIE's 2.7.2 en 2.7.6 resulteren in een gedeeltelijke of totale uitval van de voedingswatertoevoer en worden daarom ook door PIE 2.6.1 afgedekt, aangezien bij 2.6.1 uit conservatisme wordt uitgegaan van het niet beschikbaar zijn van zowel de hoofdvoedingswaterpompen als de noodvoedingswaterpompen. De afvoer van de restwarmte vindt daarbij plaats door middel van het secundair reserve-suppletiesysteem (RS) via de stoomgeneratoren.

De PIE's 2.7.3 en 2.7.4 kunnen buiten beschouwing worden gelaten op grond van het principe "lek voor breuk" (zie paragraaf 5.1) binnen de veiligheidsomhulling en de ringruimte (in de ringruimte zijn mantelbuizen toegepast) (zie paragraaf 6.3).

De PIE 2.7.5 betreft het uitvallen van de noodvoedingswaterpompen. Voor KCB kunnen dit de RL-noodvoedingswaterpompen en de pompen van het secundair reserve-suppletiesysteem (RS) zijn. Uitval van de noodvoedingswaterpompen is ook onderdeel van de scenarios voor de PIE's 2.6.1, 2.6.2, 2.7.2 en 2.7.6. Dit wordt afgedekt door PIE 2.6.1. Uitval van een RS-pomp wordt beschouwd als een enkelvoudig falen (zie paragraaf 5.1) voor de PIE's waarin het RS-systeem geactiveerd wordt. Dit is afgedekt door het redundante ontwerp van het RS-systeem.

7.3.2.3 Vermindering van het debiet in het primair systeem

7.3.2.3.1 Begingebourtenissen

- uitvallen van één of beide hoofdkoelmiddelpompen (PIE 3.1);
- breuk of blokkade van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2).

Representatieve begingebourtenis

Breuk of blokkade van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)

Toelichting

Het uitvallen van de beide hoofdkoelmiddelpompen wordt door de langdurige noodstroomsituatie (PIE 2.5.2) afgedekt, aangezien de hoofdkoelmiddelpompen niet door noodstroom worden gevoed.

Aangezien bij een asbreuk het debiet bijna sprongsgewijs afneemt en door het uitblijven van het reactorbeveiligingssignaal "pompuitval" (PUMA) het inwerpen van de regelstaven respectievelijk de reactorsnelafschakeling (RESA) vertraagd wordt, ontstaat in dit geval een kleinere kookmarge dan bij de uitval van een hoofdkoelmiddelpomp met aanspreken van het PUMA-signaal (PIE 3.1).

7.3.2.4 Verandering van de druk in het primair systeem

7.3.2.4.1 Begingebourtenissen

- daling van de druk door onbedoeld sproeien in de drukhouder (PIE 4.1);
- stijging van de druk door onbedoeld inschakelen van de drukhouderverwarming (PIE 4.2).

Representatieve begingebourtenis

Onbedoeld openen van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1) (zie paragraaf 7.3.2.7)

Toelichting

De drukdaling door onbedoeld sproeien (PIE 4.1) is afgedekt door het onbedoeld openen van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (YP) (PIE 7.1)

De drukstijging door onbedoeld inschakelen van de drukhouderverwarming (PIE 4.2) leidt niet tot een ontoelaatbare toestand aangezien deze transitie zeer langzaam verloopt en daardoor beheerst kan worden door in de drukhouder te sproeien met behulp van het volumeregelsysteem (TA) of door de drukhouderverwarming handmatig uit te schakelen. Daarnaast vallen er 4 regelstaven in de kern als de druk in het primair systeem 163 bar (eff.) is, en bij 166 bar (eff.) vindt een reactorsnelafschakeling plaats.

7.3.2.5 Onbedoelde verandering reactiviteit en vermogensverdeling

7.3.2.5.1 Begingebourtenissen

- onbedoeld uittrekken van regelstaven (PIE 5.1);
- uitworp van de meest effectieve regelstaaf (PIE 5.2);
- onbedoelde verandering van de concentratie geboreerd water van het hoofdkoelmiddel (PIE 5.3);
- plaatsing van en inbedrijfname met een splijstofelement in een verkeerde positie (PIE 5.4);
- onbedoeld bijschakelen van een hoofdkoelmiddelpomp (PIE 5.5);
- toevoer van koud water in het primair systeem vanuit aangrenzende systemen (PIE 5.6);
- loslaten van afzetting met geboreerd water (PIE 5.7);
- onbedoeld laten vallen respectievelijk inbrengen van een regelstaaf (PIE 5.8).

Representatieve begingebourtenis

- onbedoeld uittrekken van regelstaven (PIE 5.1);
- uitworp van de meest effectieve regelstaaf (PIE 5.2).

Toelichting

Onbedoeld uittrekken van regelstaven (PIE 5.1) wordt als representatieve begingebourtenis beschouwd, aangezien het een effect heeft op de gehele kern. Deze PIE wordt onder 'best estimate'-condities en onder conservatieve condities met aannames zoals falen van het systeem voor vermogensbegrenzing geanalyseerd.

Uitworp van de meest effectieve regelstaaf (PIE 5.2) wordt als representatieve begingebourtenis beschouwd omdat het tot een snelle, lokale reactiviteitsverhoging leidt.

Onbedoelde verandering van de concentratie geboreerd water van het hoofdkoelmiddel (PIE 5.3) is een langzaam proces en wordt afgedekt door PIE 5.1 wat betreft reactiviteitsveranderingen.

Een verkeerd geplaatst splijstofelement dat niet als zodanig wordt geïdentificeerd, en vervolgens in bedrijf wordt genomen (PIE 5.4), leidt in het uiterste geval tot operationele beperkingen tijdens normaal bedrijf. Vanuit veiligheidsoverwegingen is het niet nodig deze transitie te beschouwen.

Het onbedoeld bijschakelen van een hoofdkoelmiddelpomp zonder een voorafgaande vermogensreductie (PIE 5.5) heeft bij een te verwachten temperatuurdaling van ongeveer 10 K een toename van de reactiviteit van ongeveer 0,5 % tot gevolg. Echter, in tegenstelling tot het uitwerpen van een regelstaaf, vindt dat niet abrupt plaats. Hierdoor zijn de effecten geringer dan bij het uitwerpen van een regelstaaf. Dit geldt in nog sterkere mate voor de toevoer van koud water in het primair systeem vanuit aangrenzende systemen (PIE 5.6).

Het loslaten van afzetting met geboreerd water (PIE 5.7) wordt uitgesloten door de waterchemie van het hoofdkoelmiddel.

7.3.2.6 Toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel

7.3.2.6.1 Begingebourtenissen

- onbedoeld voeden door de noodkoelssystemen (PIE 6.1);
- storing in of onbedoeld bijkomen van het volumeregelsysteem, met als gevolg een toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel (PIE 6.2).

Representatieve begingebourtenis

Niet van toepassing.

Toelichting

PIE's die leiden tot een toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel zijn veiligheidstechnisch van gering belang en worden voorkomen door administratieve en procedurele maatregelen. Het afdekkende geval is het onbedoeld afsluiten van het HD-reduceerstation.

Tijdens vermogensbedrijf wordt de reactor afgeschakeld op een hoog niveau in de drukhouder. Tijdens niet-vermogensbedrijf zullen de volumeregelpompen (TA) afgeschakeld worden door de brosse breuk beveiliging.

Afgezien van deze automatische acties kunnen de TA pompen tevens met de hand afgeschakeld worden. Het vullen van de drukhouder zal langzaam verlopen, in geval van het onbedoeld afsluiten van het HD-reduceerstation wordt de drukhouder in ca. 1 uur compleet gevuld.

Het onbedoeld voeden door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) is tijdens het vermogensbedrijf van de installatie niet mogelijk door het heersende drukverschil tussen het primair systeem en de opvoerhoogte van de hoge druk kerninundatiepompen (110 bar).

Bij een onbedoelde voeding door het primair reserve-suppletiesysteem (TW) wordt de maximale inundatiedruk en daarmee het debiet naar de primaire kringloop begrensd middels een overstortventiel in de terugstroomleidingen, die bij 150 bar opent (zie tevens paragraaf 6.3). Derhalve zal het TW systeem tijdens vermogensbedrijf niet injecteren in de primaire kringloop.

7.3.2.7 Lekkages van hoofdkoelmiddel

7.3.2.7.1 Begingebourtenissen waarbij geringe lekkage van hoofdkoelmiddel optreedt

- onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1);
- lekkages van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.1);
- bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2).

Representatieve begingebourtenissen

- onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1);
- bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2).

Toelichting

Lekkages van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.1) zijn te beschouwen als bedrijfslekkages. Deze bedrijfslekkages worden gedetecteerd door middel van activiteitsmetingen in het

condensatorvacuümsysteem en het stoomgeneratorspuisysteem. Als de activiteit een vastgestelde alarmwaarde overschrijdt wordt de installatie volgens de bedrijfsprocedures uit bedrijf genomen. Grotere lekkages van stoomgeneratorpijpen, die leiden tot automatische acties ten gevolge van het aanspreken van de activiteitsmetingen in de hoofdstoomleidingen (N16 signaal), worden afgedekt door PIE 7.3.2.

De analyse van het bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2) heeft mede als doel de bronterm voor de radiologische analyse te bepalen (zie paragraaf 7.3.2.7.4). Ten aanzien van de kernkoeling is de stoomgeneratorpijpbreek te beschouwen als een te compenseren kleine lekkage van het primair systeem. Voor deze PIE is een onderscheid gemaakt tussen bezwijken van stoomgeneratorpijpen zonder een noodstroomsituatie (PIE 7.3.2.1) en met een noodstroomsituatie (PIE 7.3.2.2), omdat in geval van een bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie het turbine-omloopsysteem niet beschikbaar is en radioactiviteit naar de omgeving afgeblazen wordt.

7.3.2.7.2 **Begingebourtenissen waarbij een grotere lekkage van hoofdkoelmiddel optreedt (LOCA)**

- onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2);
- kleine lekkage van het primair systeem waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft (PIE 7.2.1);
- lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2);
- breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3).

Representatieve begingebourtenissen

- onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2);
- lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2);
- breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3).

Toelichting

PIE 7.1.2 is een speciale vorm van een kleine LOCA, aangezien hoofdkoelmiddel via het stoomvolume in de drukhouder ontsnapt. Deze wordt niet door een andere PIE binnen deze groep afgedekt en wordt derhalve geanalyseerd.

Met betrekking tot PIE 7.2.2 is een volledig lekspectrum-onderzoek uitgevoerd. Dit omvat lekkages in het koude en warme been corresponderend met gatgroottes van 20 cm² tot volledige breuken van de injectieleidingen van het kerninundatie- en nakoelsysteem (225 cm² voor aansluitingen op het koude been en tot 363 cm² voor aansluitingen op het warme been). Kleine lekkages in het primair systeem (PIE 7.2.1) behoeven geen analyse omdat ze of door PIE 7.2.2 afgedekt zijn, of door bedrijfssystemen (volumeregelsysteem) beheerst worden.

Alhoewel een rondgaande scheur in de hoofdkoelmiddelleidingen (PIE 7.2.3) uitgesloten wordt op grond van het principe "lek voor breuk" (zie paragraaf 5.1), wordt deze begingebourtenis desondanks geanalyseerd op de thermohydraulische en radiologische consequenties (zie paragraaf 7.3.2.7.4).

PIE 7.2.3 is bovendien afdekkend voor de maximale druk en temperatuur die in de veiligheidsomhulling kan optreden. Voor deze begingebourtenis is daarom een containmentanalyse (zie paragraaf 7.6) uitgevoerd om aan te tonen dat de functionaliteit van de veiligheidsomhulling

(insluiting van radioactieve stoffen) en de functionaliteit van de ongevalbestendige apparatuur bij koelmiddelverliesongevallen is gewaarborgd.

7.3.2.7.3 **Begingeburtenissen waarbij lekkage van hoofdkoelmiddel buiten de veiligheidsomhulling optreedt**

- lekkage van het volumeregelsysteem buiten de veiligheidsomhulling (PIE 7.4.1);
- lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling (PIE 7.4.2);
- lekkage van het nakoelsysteem op een willekeurige plaats in de ringruimte tijdens de afvoer van restwarmte (PIE 7.4.3).

Representatieve begingeburtenis

Niet van toepassing.

Toelichting

Lekkages van het primaire systeem buiten de veiligheidsomhulling zijn isoleerbaar door automatische redundante acties (PIE's 7.4.1 en 7.4.3) of, in geval van zeer kleine lekkages, door handmaatregelen na activering van alarmsignalen (met name alarm op hoge radioactiviteit). Voor PIE 7.4.3 is aangetoond dat de vervalwarmte ook bij (passief) falen van één nakoelstrang op langere termijn kan worden afgevoerd.

PIE 7.4.2 betreft een zeer kleine lekkage die isoleerbaar is door het sluiten van de isolatieafsluiter in de veiligheidsomhulling of, in geval van enkelvoudig falen van de isolatieafsluiter, overvoedt wordt tijdens de gehele periode van afschakelen van de reactor tot koud onderkritisch. PIE 7.4.2 wordt wel radiologisch geanalyseerd (zie paragraaf 7.3.2.7.4).

7.3.2.7.4 **Begingeburtenissen met lekkage van hoofdkoelmiddel die radiologische gevolgen heeft**

- onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2);
- lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2);
- breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3);
- bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig) (PIE 7.3.2.2);
- lekkage van het volumeregelsysteem buiten de veiligheidsomhulling (PIE 7.4.1);
- lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling (PIE 7.4.2).

Representatieve begingeburtenissen

- lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2);
- breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3);
- bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig) (PIE 7.3.2.2);
- lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling (PIE 7.4.2).

Toelichting

De radiologische gevolgen van PIE 7.2.3 zijn op grond van de mogelijk grotere hoeveelheid vrijkomende radioactiviteit afdekkend voor de PIE's 7.1.2 en 7.2.2. Vanwege verschillen in

acceptatiecriteria (beschermingsdoelstellingen) gerelateerd aan de kans van optreden worden echter zowel PIE 7.2.2 als 7.2.3 radiologisch geanalyseerd.

De radiologische gevolgen van PIE 7.4.2 zijn afdekkend voor PIE 7.4.1 omdat de concentratie en hoeveelheid radioactiviteit bij lekkage van een meetleiding hoger is dan bij lekkage van het volumeregelsysteem.

7.3.2.8 Ontsnappen radioactieve stoffen uit systemen of componenten

7.3.2.8.1 Begingebourtenissen

- storingen in het systeem voor afgassen en afvalwater (PIE 8.1);
- lekkage in een leiding van het afgassysteem (PIE 8.2);
- lekkage van een reservoir met radioactief besmet water (PIE 8.3);
- beschadigingen van splijstofelementen tijdens het hanteren (PIE 8.4.1);
- val van een transportcontainer met splijstofelementen buiten de veiligheidsomhulling (PIE 8.4.2);
- val van een zware last, met inbegrip van een transportcontainer voor splijstofelementen, op het splijstofopslagbassin (PIE 8.4.3);
- verlies van water uit het splijstofopslagbassin (PIE 8.4.4).

Representatieve begingebourtenissen

- lekkage in een leiding van het afgassysteem (PIE 8.2);
- beschadigingen van splijstofelementen tijdens het hanteren (PIE 8.4.1).

Toelichting

Voor deze categorie begingebourtenissen zijn geen thermohydraulische analyses noodzakelijk omdat deze begingebourtenissen geen invloed op het gedrag van de reactor hebben.

Ten aanzien van een storing in het radioactief afvalwatersysteem (TR) (PIE 8.1) geldt dat deze wordt afgedekt door PIE 8.2 omdat lekkages tot grotere lozingen leiden dan storingen in het systeem. PIE 8.3 wordt door de gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw (PIE 9.1.2) afgedekt omdat daarbij meer radioactiviteit vrij kan komen.

De PIE's 8.4.2, 8.4.3 en 8.4.4 behoeven door de getroffen voorzorgsmaatregelen geen analyse.

Deze maatregelen betreffen:

- het gebruik van "single-failure proof" kranen (PIE 8.4.2 en 8.4.3);
- de bestendigheid tegen vallen van de toegepaste transportcontainers (PIE 8.4.2 en 8.4.3);
- met betrekking tot PIE 8.4.3 zijn bovendien procedures beschikbaar voor het gebruik van de polaire kraan in de veiligheidsomhulling. Hijsen is alleen toegestaan langs bepaalde paden en zo laag mogelijk. Verder is een valdemper aanwezig in het splijstofopslagbassin om lekkage van het splijstofopslagbassin te voorkomen indien de transportcontainer op deze positie zou vallen;
- met betrekking tot PIE 8.4.4 wordt verlies van water uit het splijstofopslagbassin gedetecteerd via een lekdetectiesysteem. Verder vormt de bekleding van het splijstofopslagbassin en van het beton een dubbele barrière. Zie ook paragraaf 6.9.

Als lekkage van het SOB niet wordt verondersteld blijft alleen lekkage van het TG-systeem over ter beschouwing. Een dergelijke lekkage, die een niveaudaling van het SOB tot gevolg heeft, zal leiden met name in de enkelvoudige persleiding, leidt wél tot een totaal verlies van de koeling van het SOB maar niet tot leeglopen daarvan (op laag niveau zullen de gebouwafsluiters van TG sluiten en

worden de TG-pompen afgeschakeld). ~~Leeglopen van het SOB wordt verhindert door de aangebrachte hevelbreker in de TG-persleiding.~~ Langdurige uitval van de TG-koeling in de bedrijfssituatie “kern in het splijststofopslagbassin” leidt uiteindelijk tot verdamping van het aanwezige water. Dit is echter een langzaam verlopend proces.

7.3.2.9 Externe invloeden

7.3.2.9.1 Begingebourtenissen van externe oorsprong

- gevolgen van een aardbeving op gebouwen en systemen aardbevingsklasse I (PIE 9.1.1);
- gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw (PIE 9.1.2);
- neerstorten van een vliegtuig (PIE 9.2);
- externe explosies (PIE 9.3);
- ongeval met schadelijke chemische stoffen (PIE 9.4);
- brand buiten de centrale (PIE 9.5);
- hoogwater (PIE 9.6);
- blikseminslag (PIE 9.7);
- overige door de natuur veroorzaakte invloeden (PIE 9.8).

Representatieve begingebourtenis

Gevolgen van een aardbeving op gebouwen en systemen aardbevingsklasse I (PIE 9.1.1).

Toelichting

Externe invloeden worden in het kader van de thermohydraulische analyses alleen dan onderzocht, wanneer een effect op de kern te verwachten is.

Aardbevingen worden beheerst volgens het RS-concept. Bij de analyse gaat men ervan uit dat alleen de veiligheidsrelevante systemen die tegen aardbevingen bestand zijn functioneren (aardbevingsklasse I). Deze veiligheidsrelevante systemen bevinden zich in het reactorgebouw (01/02), het reserve-suppletiegebouw (33) en de reserve-regelzaalgebouw (35) welke allen aardbevingsklasse I zijn geklasseerd. Ook het reserve- koelwatersysteem (VE) is bestand tegen aardbeving (zie paragraaf 5.10). De radiologische consequenties ten gevolge van aardbevingen zijn opgenomen in paragraaf 7.3.2.9.2.

De genoemde gebouwen zijn gekwalificeerd voor externe invloeden zoals het neerstorten van een vliegtuig (PIE 9.2) en een drukgolf als gevolg van een externe explosie (PIE 9.3) (zie paragraaf 5.10). De gevolgen van deze begingebourtenissen hoeven daarom niet thermohydraulisch geanalyseerd te worden.

De overige externe invloeden (PIE 9.4 t/m PIE 9.8) worden beheerst doordat hiermee bij het ontwerpen van de installatie rekening is gehouden of doordat deze afgedekt worden door de maatregelen die getroffen zijn voor de hierboven vermelde PIE's 9.1, 9.2 en 9.3 (zie paragraaf 5.10).

7.3.2.9.2 Begingebourtenissen van externe oorsprong met radiologische gevolgen

- gevolgen van een aardbeving op gebouwen en systemen aardbevingsklasse I (PIE 9.1.1);
- gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw (03) (PIE 9.1.2).

Representatieve begingebourtenis

Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw (PIE 9.1.2)

Toelichting

Als mogelijk gevolg van een aardbeving wordt bij PIE 9.1.1 de breuk van aansluitleidingen < DN200 aan beide hoofdstoomleidingen in het machinegebouw verondersteld. Door getroffen voorzieningen is een ongecontroleerde toename van eventueel reeds aanwezige bedrijfslekage van stoomgeneratorpijpen uitgesloten. De radiologische gevolgen worden daarom afgedekt door PIE 1.5.1.

7.3.2.10 **Diversen**7.3.2.10.1 **Begingebourtenissen**

- gevolgen van een turbinestoring (PIE 10.1);
- overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 10.2);
- branden en explosies in de centrale (PIE 10.3);
- overstroming in veiligheidsrelevante gebouwen (PIE 10.4);
- bedrijfstransiënten waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (PIE 10.5);
- lekkage van de stoomgeneratorspuileiding in de ringruimte (PIE 10.6);
- lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in het reactorgebouw (PIE 10.7);
- lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in andere gebouwen (bijvoorbeeld het machinegebouw) (PIE 10.8);
- lekkage van andere systemen met een hoogenergetische inhoud in veiligheidsrelevante gebouwen (PIE 10.9).

Representatieve begingebourtenissen

- overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 10.2);
- bedrijfstransiënten waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (PIE 10.5).

Toelichting

De bestendigheid van de installatie tegen de gevolgen van een turbinestoring (PIE 10.1) zijn in paragraaf 5.9, sectie "Weggeslingerde brokstukken" beschreven.

De maatregelen tegen branden en explosies (PIE 10.3) binnen de installatie zijn in paragraaf 5.9, sectie "Brand en explosies binnen de installatie" beschreven.

Tegen overstromingen in de voor de veiligheid relevante gebouwen (PIE 10.4) als gevolg van het falen van componenten zijn voorzorgsmaatregelen getroffen zoals compartimentering, plaatsing op een hoger niveau en afsluitmaatregelen. Deze zijn in paragraaf 5.9, secties "Ioniserende straling" en "Interne overstroming" beschreven.

PIE 10.5 (ATWS) is geanalyseerd waarbij een totaal verlies van voedingswater wordt verondersteld. In dit geval vindt maximale warmteoverdracht naar de stoomgeneratoren plaats (hoofdkoelmiddelpompen blijven functioneren) en neemt het voedingswaterdebiet snel af.

De gevolgen van een lekkage in de spuileiding van een stoomgenerator in de ringruimte (PIE 10.6) zijn van belang voor de stabiliteit van de veiligheidsomhulling en het ontwerp van de mechanische en elektrotechnische componenten die bestand moeten zijn tegen de omgevingscondities

(ongevalsbestendigheid). In paragraaf 5.9, sectie "Omgevingscondities als gevolg van lekkages en breuken in pijpleidingen" is dit beschreven.

Wat PIE 10.7 betreft is in het reactorgebouw vanwege de hoge fabricagekwaliteit en door periodieke inspecties en onderhoud, het barsten van vaten uit te sluiten (zie paragraaf 5.9, sectie "Weggeslingerde brokstukken"). Bovendien zijn bij de recuperatieve warmtewisselaars en de HD-koelers de voor de veiligheid belangrijke onderdelen door omringende muren beschermd.

Ten aanzien van PIE 10.8 behoeft vanwege de getroffen voorzorgsmaatregelen geen falen van een vat te worden verondersteld, of treden geen ontoelaatbare belastingen op voor veiligheidsrelevante installatiedelen die nodig zijn voor de ongevalsbeheersing (zie paragraaf 5.9, sectie "Weggeslingerde brokstukken").

Lekkage van andere systemen met een hoogenergetische inhoud in veiligheidsrelevante gebouwen (PIE 10.9) en de maatregelen tegen gevolgen van hypothetische lekkages zijn in paragraaf 5.9, sectie "Falen van hoogenergetische pijpleidingen" en paragraaf 5.9, sectie "Weggeslingerde brokstukken" beschreven.

7.3.3 Representatieve begingebourtenissen (aanvullende lijst)

Voor de gedefinieerde begingebourtenissen opgenomen in de aanvullende lijst is geverifieerd of deze worden afgedekt door de representatieve begingebourtenissen zoals beschreven in paragraaf 7.3.2 of dat deze op grond van argumentatie geen verdere gedetailleerde analyse behoeven. Indien dit niet het geval is, dan is de betreffende begingebourtenis aan de lijst met representatieve begingebourtenissen toegevoegd.

Deze aanpak is gevolgd voor de begingebourtenissen die betrekking hebben op normaal bedrijf/storingen en ontwerpongevallen. De buitenontwerpongevallen opgenomen in de aanvullende lijst worden afzonderlijk in paragraaf 7.7 behandeld.

7.3.3.1 Normaal bedrijf en storingen

7.3.3.1.1 Begingebourtenissen ten aanzien van het reactorsysteem

- storing in het volumeregelsysteem met als gevolg een afname van de hoeveelheid koelmiddel (PIE D2-16);
- niveaudaling tijdens mid-loop bedrijf (PIE D2-17);
- uitval van een strang van het nakoelsysteem tijdens nakoelbedrijf (PIE D2-19);
- uitschakeling van het volledige nakoelsysteem als gevolg van foutieve signalen (kortstondig) (PIE D2-20);
- verstoring in de regeling van het reactorvermogen (PIE D2-21).

Representatieve begingebourtenis

Niet van toepassing.

Toelichting

Storing in het volumeregelsysteem met als gevolg een afname van de hoeveelheid koelmiddel (PIE D2-16) wordt beheerst door het reactorbeveiligingsysteem. Bij laag niveau in de drukhouder volgt reactorafschakeling en isolatie van het volumeregelsysteem, waardoor de afname van de hoeveelheid koelmiddel wordt gestopt.

Niveaudaling tijdens mid-loop bedrijf (PIE D2-17) wordt beheerst door automatische acties (onder andere injectie door het primair reservesuppletiesysteem (TW)).

Uitval van een strang van het nakoelsysteem tijdens nakoelbedrijf (PIE D2-19) en uitschakeling van het volledige nakoelsysteem als gevolg van foutieve signalen (kortstondig) (PIE D2-20) worden beheerst door het handmatig inbedrijf nemen van een andere strang van het nakoelsysteem of het in bedrijf nemen van de reservekoelketen (TE/TG080/VE), door de warmteafvoer via de stoomgeneratoren of door automatische injectie van primair reservesuppletiesysteem bij het aanspreken van het reactorbeveiligingssysteem.

Een verstoring in de regeling van het reactorvermogen (PIE D2-21) wordt afgedekt door PIE 5.1.

7.3.3.1.2 Begingebourtenissen ten aanzien van het splijststofopslagbassin

- uitval van een inbedrijf zijnde koelstrang of een ongeplande kortstondige onderbreking (max. 30 minuten) van de totale warmteafvoer (PIE B2-01);
- lekkage van het splijststofopslagbassin of waterverlies via aansluitleidingen (max. doorsnede overeenkomstig DN25) (PIE B2-02);
- noodstroomsituatie gedurende maximaal 10 uur (PIE B2-03);
- verstoringen in de concentratie geboreerd water (PIE B2-04);
- ongunstigste foutieve belading van het splijststofopslagbassin of transportcontainer met het meest reactieve splijststofelement (PIE B2-05).

Representatieve begingebourtenis

Niet van toepassing.

Toelichting

Uitval van een inbedrijf zijnde koelstrang of een ongeplande kortstondige onderbreking (max. 30 minuten) van de totale warmteafvoer (PIE B2-01) en lekkage van het splijststofopslagbassin of waterverlies via aansluitleidingen (max. doorsnede overeenkomstig DN25) (PIE B2-02) worden beheerst door het (weer) in gebruik nemen van een alternatieve koelstrang (TG020, TG030 of TG080) en/of het weer opvullen van het splijststofopslagbassin. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit veelal handmaatregelen betreft. Omdat de opwarming van het splijststofopslagbassin een langzaam lopend proces is, is hiervoor ruim voldoende tijd beschikbaar (in de meest nadelige situatie meer dan 2,5 uur).

Noodstroomsituatie gedurende maximaal 10 uur (PIE B2-03) wordt beheerst doordat de relevante componenten van het splijststofopslagbassinakoelsysteem (TG) alsmede de daarmee verbonden koelsystemen gevoed worden door noodstroomnet 1 of 2, zodat koeling van het splijststofopslagbassin via de nakoelketen (TF/VF) en/of via het reservekoelwatersysteem (VE) is gewaarborgd.

Verstoringen in de concentratie geboreerd water (PIE B2-04) zijn voor de KCB niet relevant, omdat de bewijsvoering omtrent de onderkritikaliteit van het splijststofopslagbassin gebaseerd is op het gebruik van ongeboerd water. Hiermee is ook de ongunstigste foutieve belading van het splijststofopslagbassin (PIE B2-05) afgedekt. De ongunstigste foutieve belading van een transportcontainer (PIE B2-05) wordt uitgesloten door procedurele maatregelen.

7.3.3.2 Ontwerpongevallen

7.3.3.2.1 Begingebourtenissen ten aanzien van het reactorsysteem

- onbedoelde temperatuur- of drukverlaging in de stoomgenerator door ernstige storing in het hoofdstoomsysteem of het voedingswaterssysteem (PIE D3-01);
- onbedoelde temperatuur- of drukverhoging in de stoomgenerator door ernstige storing in het hoofdstoomsysteem of het voedingswaterssysteem (PIE D3-02);
- ontoelaatbare niveaustijging in stoomgenerator door storing in voedingswaterssysteem (PIE D3-04);
- breuk in de hoofdstoomleiding na de hoofdstoomafsluiters in combinatie met het bezwijken van een stoomgeneratorpijp (PIE D3-08);
- onbedoeld voeden van hoofdkoelmiddel vanuit operationele- of veiligheidssystemen in het geval dat begrenzingsmaatregelen ineffectief zijn (PIE D3-11);
- niveaudaling tijdens mid-loop bedrijf en aansluitend uitval van nakoelpompen (PIE D3-12);
- uitval van een strang van het nakoelsysteem tijdens nakoelbedrijf (PIE D3-13);
- uitschakeling van het volledige nakoelsysteem als gevolg van foutieve signalen (PIE D3-14);
- onbedoeld uittrekken van de meest effectieve regelstaaf of de meest effectieve regelstaafgroep met verlies van begrenzingsystemen (PIE D3-15);
- foutief beladen van de reactor kern met meer dan één splijtstofelement (PIE D3-17);
- onbedoelde verlaging van de concentratie geboreerd water van het hoofdkoelmiddel door foutieve injectie vanuit systemen met verlies van begrenzingsystemen (externe verdunning) (PIE D3-19);
- vorming van laag-geboreerde gebieden in het primair systeem (interne verdunning) (PIE D3-20);
- lekkage van de aansluiting tussen hoofdkoelmiddelleiding en reactorvat (PIE D3-26);
- lekkage van 20 cm² in het reactorvat, beneden de bovenkant van de kern (PIE D3-27);
- lekkage in het gebied rond de reactorvatsluiting (deksel) (PIE D3-28);
- lekkages door foutief onderhoud of foutieve schakelingen aan het primair systeem (PIE D3-29);
- lekkages of breuken in warmtewisselaars die met hoofdkoelmiddel worden doorstroomd (PIE D3-33);
- lekkage in systemen die tot overstroming van de ringruimte kunnen leiden (PIE D3-35);
- breuk van een regelstaafbehuizing met uitworp van een regelstaaf (PIE D3-42);
- kleine lekkage van het primair systeem (\leq DN50) inclusief een breuk in de injectieleiding met geboreerd water (PIE PCC3-5).

Representatieve begingebourtenis

- vorming van laag-geboreerde gebieden in het primair systeem (interne verdunning) (PIE D3-20);
- lekkage van 20 cm² in het reactorvat, beneden de bovenkant van de kern (PIE D3-27);
- breuk van een regelstaafbehuizing met uitworp van een regelstaaf (PIE D3-42).

Toelichting

Onbedoelde temperatuur- of drukverlaging in zowel de stoomgenerator als het primaire systeem door een grote storing in het hoofdstoom- of voedingswaterssysteem (PIE D3-01) wordt door zowel PIE 1.4 als PIE 1.5.4 afgedekt.

Een ernstig storing in het hoofdstoomsysteem of voedingswatersysteem, leidend tot temperatuur- en/of drukverhoging in de stoomgenerator of het primaire systeem (PIE D3-02) wordt door PIE 2.3.2 afgedekt.

Ontoelaatbare niveaustijging in stoomgenerator door storing in het voedingswatersysteem (PIE D3-04) wordt beheerst door het reactorbeveiligingssysteem dat bij hoog niveau in de stoomgenerator de nood- en hoofdvoedingswaterkleppen sluit. Hierdoor wordt de toevoer van voedingswater voldoende snel afgesloten om het overvullen van de stoomgenerator te voorkomen.

Breuk in de hoofdstoomleiding na de hoofdstoomafsluiters in combinatie met het bezwijken van een stoomgeneratorpijp (PIE D3-08) wordt beheerst door het sluiten van de hoofdstoomafsluiter in de betrokken hoofdstoomleiding en de breukbeveiligingskleppen. Door de isolatie, injectie door het TW-systeem en eventueel door het hoge druk TJ-systeem worden de veiligheidsfuncties onderkritikaliteit en de kernkoeling zeker gesteld. De radiologische gevolgen van dit ongeval worden afgedekt door PIE 7.3.2 "bezwijken van stoomgeneratorpijpen".

Onbedoeld voeden van hoofdkoelmiddel vanuit operationele- of veiligheidssystemen in het geval dat begrenzingsmaatregelen ineffectief zijn (PIE D3-11) wordt beheerst door het openen van de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder.

Niveaudaling tijdens mid-loop bedrijf en aansluitend uitval van nakoelpompen (PIE D3-12) wordt beheerst door automatische acties (onder andere injectie door het primair reservesuppletiesysteem (TW)). In het geval dat geen enkele automatische actie om het inventarisverlies tegen te gaan functioneert of een niet-isoleerbare lekkage is opgetreden, zijn er geen handmaatregelen binnen 30 minuten noodzakelijk om het ongeval te beheersen. Na 30 minuten kan middels handmaatregelen koelmiddel in het primair systeem worden gebracht.

Uitval van een strang van het nakoelsysteem tijdens nakoelbedrijf (PIE D3-13) en uitschakeling van het volledige nakoelsysteem als gevolg van foutieve signalen (PIE D3-14) worden beheerst door het handmatig inbedrijf nemen van de alternatieve strang van het nakoelsysteem of het in bedrijf nemen van de reservekoelketen (TE/TG080/VE), door de warmteafvoer via de stoomgeneratoren of door automatische injectie van primair reservesuppletiesysteem bij het aanspreken van het reactorbeveiligingssysteem.

Het onbedoeld uittrekken van de meest effectieve regelstaaf of de meest effectieve regelstaafgroep (PIE D3-15) en onbedoelde verlaging van de concentratie geboreerd water van het hoofdkoelmiddel door foutieve injectie vanuit systemen met verlies van begrenzingsystemen (externe verdunning) (PIE D3-19) worden door PIE 5.1 afgedekt.

Het foutief beladen van de reactorkern met meer dan één splijtstofelement (PIE D3-17) wordt uitgesloten door procedurele maatregelen. Indien desondanks de maatregelen falen, dan zijn bepaalde afwijkingen met behulp van de aanwezige kerninstrumentatie te detecteren. Dit geldt niet voor alle afwijkingen; bijvoorbeeld verwisseling van nagenoeg identieke elementen. In alle gevallen geldt echter dat de veiligheidsmarges worden bewaakt en gerespecteerd.

Onbedoelde verlaging van de concentratie geboreerd water van het hoofdkoelmiddel als gevolg van *reflux condensing* (interne verdunning) (PIE D3-20) wordt separaat geanalyseerd (zie paragraaf 7.6).

Lekkage van de aansluiting tussen hoofdkoelmiddelleiding en reactorvat (PIE D3-26) wordt beheerst door het openen van de polygoonluiken tussen de reactorcaviteit en het reactorbassin, waardoor geen significante drukopbouw in de reactorcaviteit zal plaatsvinden. Het water dat in de reactorcaviteit achterblijft en daardoor niet beschikbaar is voor kernkoeling, is beperkt van omvang.

De lekkage zelf wordt met betrekking tot het voldoen aan de acceptatiecriteria voor kernkoeling afgedekt door PIE 7.2.2 (Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling).

Lekkage in het gebied rond de reactorvatsluiting (deksel) (PIE D3-28) en kleine lekkage van het primair systeem (\leq DN50) inclusief een breuk in de injectieleiding met geboreerd water (PIE PCC3-5) worden door PIE 7.2.2 afgedekt, aangezien bij PIE 7.2.2 voor een breukspectrum van breuken aan het koude been en het hete been is aangetoond dat aan de acceptatiecriteria wordt voldaan.

Voor wat betreft de locatie van de LOCA is PIE D3-27 daarentegen uniek. In dit geval wordt een LOCA aan de onderzijde van het reactorvat verondersteld waardoor hoofdkoelmiddel in de reactorcaviteit stroomt. Voor deze PIE is een thermohydraulische analyse uitgevoerd (zie paragraaf 7.4).

Lekkages door foutief onderhoud of foutieve schakelingen aan het primair systeem (PIE D3-29) worden beheerst door de vele (procedurele) voorzorgsmaatregelen en de automatische injectie van het primair reservesuppletiesysteem (TW) en/of het kerninundatiesysteem (TJ) als gevolg van het aanspreken van het reactorbeveiligingssysteem.

Lekkages of breuken in warmtewisselaars die met hoofdkoelmiddel worden doorstroomd (PIE D3-33) worden voor wat betreft het voldoen aan de acceptatiecriteria voor kernkoeling afgedekt door PIE 7.2.2 (Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling). De radiologische gevolgen blijven beperkt tot een verhoogde activiteit in het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF). Bij een te hoge druk in dit systeem wordt het water afgelaten naar het nucleair gebouwonwateringssysteem (TZ). Er zijn geen gevolgen voor de omgeving.

Lekkage in systemen die tot overstroming van de ringruimte kunnen leiden (PIE D3-35) wordt beheerst door de getroffen voorzorgsmaatregelen. Alle veiligheidssystemen die noodzakelijk zijn voor het afschakelen van de reactor en voor het afvoeren van de vervalwarmte zijn op dusdanige hoogten in de ringruimte geplaatst dat deze systemen zullen blijven functioneren in geval van een overstroming. Radiologisch wordt dit ontwerpgeval afgedekt door PIE 8.2 (Lekkage in een leiding van het afgassysteem).

De impact van een storing of breuk van een regelstaafbehuizing (PIE D3-42) met betrekking tot reactiviteit wordt door PIE 5.2 (uitworp van de meest effectieve regelstaaf) afgedekt. De eventuele gevolgen voor het functioneren van veiligheidssystemen als gevolg van de rondvliegende delen worden separaat geanalyseerd (zie paragraaf 7.6).

7.3.3.2.2 Begingebourtenissen ten aanzien van het splijststofopslagbassin

- langdurige uitval (> 30 minuten) van twee koelstrangen van het splijststofopslagbassin (PIE B3-01);
- lekkage van het splijststofopslagbassin met doorsnede overeenkomstig DN25 tot doorsnede grootste aansluitleidingen (PIE B3-02);
- lekkage van het reactorbassin met geopende sluis (PIE B3-03);
- interne lekkage van met koelmiddel doorstroomde warmtewisselaars van het splijststofopslagbassin (PIE B3-04);
- noodstroomsituatie gedurende meer dan 10 uur (PIE B3-05);
- indringing van water of stoom in de droge opslag voor onbestraalde splijststofelementen (PIE B3-06);
- geometrische veranderingen van het splijststofopslagbassin of droge opslag als gevolg van invloeden van buiten (PIE B3-07);

- val van een splijstofelement in het splijststofopslagbassin (PIE B3-08);
- foutief beladen van het splijststofopslagbassin of transportcontainer met meer dan één splijstfofelement (PIE B3-09);
- onbedoelde verlaging van de concentratie geboreerd water in het splijststofopslagbassin (PIE B3-10).

Representatieve begingebuurtenis

Niet van toepassing.

Toelichting

Langdurige uitval (> 30 minuten) van twee koelstrangen van het splijststofopslagbassin (PIE B3-01) en lekkage van het splijststofopslagbassin met doorsnede overeenkomstig DN25 tot doorsnede grootste aansluitleidingen (PIE B3-02) worden beheerst door het (weer) in gebruik nemen van een alternatieve koelstrang (TG020, TG030 of TG080) en/of het weer opvullen van het splijststofopslagbassin. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit veelal handmaatregelen betreft. Omdat de opwarming van het splijststofopslagbassin een langzaam lopend proces is, is hiervoor ruim voldoende tijd beschikbaar (in de meest nadelige uitgangssituatie meer dan 4 uur).

Tegen lekkage van het reactorbassin met geopende sluis (PIE B3-03) zijn voorzorgsmaatregelen getroffen. Het betreft de aanwezigheid van een drempel tussen het reactor- en splijststofopslagbassin, waardoor wordt voorkomen dat de splijstfofelementen in het splijststofopslagbassin droog komen te staan in geval van lekkage van het reactorbassin.

Interne lekkage van met koelmiddel doorstroomde warmtewisselaars van het splijststofopslagbassin (PIE B3-04) heeft voor de KCB geen gevolgen voor de veiligheidsfuncties vanwege de heersende drukverschillen waardoor lekkage vanuit het splijststofopslagbassin koelsysteem naar andere systemen niet mogelijk is.

Noodstroomsituatie gedurende meer dan 10 uur (PIE B3-05) wordt beheerst doordat de relevante componenten van het splijststofopslagbassin koelsysteem (TG) alsmede de daarmee verbonden koelsystemen gevoed worden door noodstroomnet 1 of 2, zodat koeling van het splijststofopslagbassin via de nakoelketen (TF/VF) en/of via het reservekoelwatersysteem (VE) is gewaarborgd.

Indringing van water of stoom in de droge opslag voor onbestraalde splijstfofelementen (PIE B3-06) is voor de KCB niet relevant, omdat KCB geen actief gebruik maakt van deze mogelijkheid.

Ten aanzien van geometrische veranderingen van het splijststofopslagbassin of droge opslag als gevolg van invloeden van buiten (PIE B3-07) geldt dat het splijststofopslagbassin en de gebruikte opslagrekken aardbevingsbestendig zijn en gehuisvest zijn in gebouw 01 dat bestand is tegen invloeden van buiten. In het geval van invloeden van buitenaf wordt de warmte van het SOB afgevoerd via het TG080-systeem, dat onderdeel uit maakt van de reservekoelketen (TE/TG080/VE). Het TG080-systeem en de betreffende TG-systeemdelen die benodigd zijn voor afvoer van de warmte via de reservekoelketen zijn ontworpen tegen invloeden van buitenaf en zijn gehuisvest in de gebouwen 01 en 02 die hier eveneens tegen bestand zijn (zie paragraaf 6.9).

Voor de val van een splijstfofelement in het splijststofopslagbassin (PIE B3-08) is als onderdeel van de kritikaliteitanalyses voor het splijststofopslagbassin aangetoond dat aan de beschermingsdoelstellingen ten aanzien van onderkritikaliteit wordt voldaan. De radiologische gevolgen worden afgedekt door PIE 8.4.1 (Beschadigingen van splijstfofelementen tijdens het hanteren).

Onbedoelde verlaging van de concentratie geboreerd water in het splijstofopslagbassin (PIE B3-10) is voor de KCB niet relevant, omdat de bewijsvoering omtrent de onderkritikaliteit van het splijstofopslagbassin gebaseerd is op het gebruik van ongeboerd water. Hiermee is ook de foutieve belading van het splijstofopslagbassin met meer dan één splijstofelement (PIE B3-09) afgedekt. De foutieve belading van een transportcontainer (PIE B3-09) wordt uitgesloten door procedurele maatregelen.

7.4 THERMOHYDRAULISCHE ANALYSES

7.4.1 Inleiding

In paragraaf 7.4 worden de thermohydraulische analyses zoals uitgevoerd voor de relevante representatieve begingebourtenissen vermeld in paragraaf 7.3 behandeld.

Door middel van thermohydraulische analyses wordt aangetoond dat bij de inzet van ENU, (c-)ERU en MOX aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan. De analyses zijn meestal niet specifiek voor ENU, (c-)ERU en MOX uitgevoerd maar met voor deze kernsamenstellingsvarianten afdekkende parameters en per samenstellingsvariant de minimaal vereiste boriumconcentratie.

De beschermingsdoelstellingen waaraan moet worden voldaan, hangen af van de te beschouwen begingebourtenis en van de beschermingsdoelstellingen van andere begingebourtenissen waarvoor de te analyseren begingebourtenis mede afdekkend is, alsmede van de kans van optreden. De concrete beschermingsdoelstellingen worden bij iedere analyse afzonderlijk vermeld.

Daar waar relevant is voor de vermogenstoestand van de installatie (volland, deellast of nullast) die toestand beschouwd die het ongunstigste ongevalsverloop veroorzaakt. Bovendien is stretch-out-bedrijf als bedrijfstoestand mee afgedekt.

7.4.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Bij de thermohydraulische analyses wordt onderscheid gemaakt tussen ongevallen waarbij verlies van hoofdkoelmiddel optreedt (LOCA-analyses) en ongevallen waarbij dit niet het geval is (NON-LOCA-analyses).

NON-LOCA-analyses

Bij de NON-LOCA-analyses wordt uitgegaan van de nominale bedrijfswaarden, waarbij steeds die vermogens- en opbrandtoestand gebruikt wordt, die voor het ongevalsverloop het ongunstigst is.

Principieel wordt ervan uitgegaan, dat meet- en regeltechnische systemen (reactorbeveiliging, reactorvermogensbegrenzing, regelingen), alsook hulpsystemen, die niet vanwege de te beschouwen gebeurtenis als niet-beschikbaar moeten worden beschouwd, ter beschikking staan. Om tot een voldoende conservatief resultaat te komen, worden aanvullende randvoorwaarden aangenomen, afhankelijk van de te beschouwen gebeurtenis.

Dergelijke conservatieve randvoorwaarden zijn bijvoorbeeld:

- verhoogd initieel reactorvermogen;
- enkelvoudig falen van relevante componenten/systemen;
- negeren van het eerste RESA signaal;
- aanname van *stuck rod* (meest effectieve regelstaaf blijft in uitgetrokken positie steken);
- verhoogde vervalwarmte.

LOCA-analyses

Bij de LOCA-analyses is de volland bedrijfssituatie aangenomen. Voor de LOCA-ongevallen zijn altijd best-estimate analyses met conservatieve begincondities en randvoorwaarden uitgevoerd. De conservatieve aannames zijn bijvoorbeeld:

- verhoogd initieel reactorvermogen;
- enkelvoudig falen van relevante componenten/systemen;

- noodstroomsituatie (begin van voeding door de noodkoelsystemen niet vóór het op toeren komen van de noodstroomdieselaggregaten inclusief schakeltijden);
- niet beschikbaar zijn van alle bedrijfssystemen.

7.4.3 Rekenmodellen

Om het thermohydraulische gedrag van de installatie te analyseren is het rekenprogramma RELAP5 gebruikt. Dit is een algemeen geaccepteerde en gevalideerde code voor drukwaterreactoren. Voor KCB is een model opgesteld dat het primair en secundair systeem omvat. Daarnaast zijn de regel-, begrenziings- en reactorbeveiligingsystemen gemodelleerd.

Voor specifieke berekeningen bestaan er koppelingen tussen RELAP5 en andere rekenprogramma's zoals PANBOX, COBRA en BETHY. PANBOX wordt gebruikt om middels een driedimensionaal model de plaatsafhankelijk reactiviteitseffecten in de kern te kunnen bepalen. COBRA is een programma waarmee heetkanaalanalyses worden uitgevoerd (onder andere bepaling DNB-marge). BETHY wordt toegepast om het gedrag van individuele splijtstofstaven te kunnen analyseren (temperatuurverdeling in de splijtstof en van de splijtstofomhulling, inclusief effecten van het mogelijk opbollen en scheuren van de splijtstofomhulling).

Alle in paragraaf 7.4.4 gepresenteerde analyseresultaten zijn tot stand gekomen met behulp van deze moderne, voor dat doel geschikte rekenprogramma's. Conservatieve aannames en uitgangspunten alsmede theoretische modellering van de installatie en processen vormen hierbij de basis. Dit impliceert dat als gevolg van wijzigingen van aannames of modellen wegens nieuwe inzichten of gegevens de in paragraaf 7.4.4 gepresenteerde resultaten aan verandering onderhevig kunnen zijn, waarbij evenwel de veiligheidsgrenzen niet overschreden mogen worden.

7.4.4 Thermohydraulische analyses voor representatieve begingebourtenissen

In de volgende paragrafen wordt het aantonen van de handhaving van de beschermingsdoelstellingen en het verloop van het ongeval behandeld. Het verloop van het ongeval is beschreven voor de afdekkende analyse. Het verloop van het ongeval voor de afdekkende analyse hoeft echter niet noodzakelijkerwijs gelijk te zijn voor ENU, (c-)ERU en MOX.

7.4.4.1 Onbedoeld openen van appendages (o.a. afsluiters, afregel- en veiligheidskleppen) in de secundaire kringloop (PIE 1.4)

Doel van de ongevalsanalyse

Het ten onrechte open gaan van appendages van het hoofdstoomsysteem tijdens vermogensbedrijf kan onder bepaalde omstandigheden leiden tot een verhoging van het reactorvermogen. Deze vermogensverhoging mag niet tot een ontoelaatbare toestand in de reactorkern leiden. Daarom moeten de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijtstof- en splijtstofomhullingstemperaturen mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarden komen;
- de warmteafvoer dient gewaarborgd te zijn.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- noodvoedingswatersysteem (RL);
- hoofdstoomafsluiters en breukbeveiligingskleppen.

Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt verondersteld, dat tijdens vollast-bedrijf meerdere turbine-omloopafsluiters spontaan sprongsgewijs open gaan. Uit parameterstudies is gebleken, dat maximale vermogensverhoging optreedt bij een openingsgraad van de afsluiters van 66%. Daarom is bij de analyse van deze waarde uitgegaan.

Het uitvallen van de turbineregeling is aangenomen, omdat deze het ongevalsverloop gunstig zou beïnvloeden.

Als ongunstige uitgangstoestand zijn de berekeningen uitgevoerd voor een kern aan het einde van een cyclus vanwege de sterke terugkoppeling van de temperatuurscoëfficiënt van het hoofdkoelmiddel op de reactiviteit.

Tenslotte is verondersteld, dat het eerste signaal van de reactorvermogensbegrenzing wordt genegeerd.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het spontaan openen van de omloopafsluiters wordt de stoomafname uit de stoomgeneratoren sprongsgewijs verhoogd, hetgeen kortstondig tot een verlaging van de gemiddelde temperatuur van het hoofdkoelmiddel leidt. De grote invloed van de hoofdkoelmiddeltemperatuur op de reactiviteit aan het cycluseinde heeft een verhoging van het reactorvermogen tot gevolg.

Bij een reactorvermogen $> 105\%$ zou normaal gesproken de reactorvermogensbegrenzing aanspreken, echter dit signaal wordt genegeerd. De KMT regeling zorgt ervoor dat de regelstaven worden getrokken, waardoor het reactorvermogen verder toeneemt.

Na circa 19 seconden is de grenswaarde "reactorvermogen $>$ glijdende grenswaarde" bereikt en volgt een reactorsnelafschakeling (RESA). Op deze RESA volgt een turbinesnelafschakeling (TUSA) waarbij de turbineregelventielen sluiten. Na een korte druktoename, neemt de stoomdruk sterk af.

Ongeveer 138 seconden na het begin van het ongeval wordt de reactor weer kritisch, wat voor dit type ongeval is toegestaan. Na circa 150 seconden is de druk in de hoofdstoomleiding zo ver afgenomen dat de grenswaarde voor de drukdalingsgradient (DAF-signaal) aanspreekt. Hierop volgend wordt de hoofdvoedingswaterverzorging van beide stoomgeneratoren afgesloten; de hoofdstoomafsluiters en de breukbeveiligingskleppen worden gesloten en de hoofdvoedingswaterpompen worden afgeschakeld. Door het secundair afsluiten van beide stoomgeneratoren wordt voorkomen dat de druk in de hoofdstoomleiding verder daalt en wordt de onderkoeling van het primaire systeem beëindigd. Het waterniveau in de stoomgeneratoren wordt door het gestarte noodvoedingswatersysteem (RL) weer aangevuld, waarop de druk in de hoofdstoomleiding weer toeneemt.

Met de beëindiging van de onderkoeling van het primaire systeem, neemt de temperatuur en de druk van het hoofdkoelmiddel weer toe. De afnemende moderatorreactiviteit zorgt ervoor dat de reactor weer onderkritisch wordt.

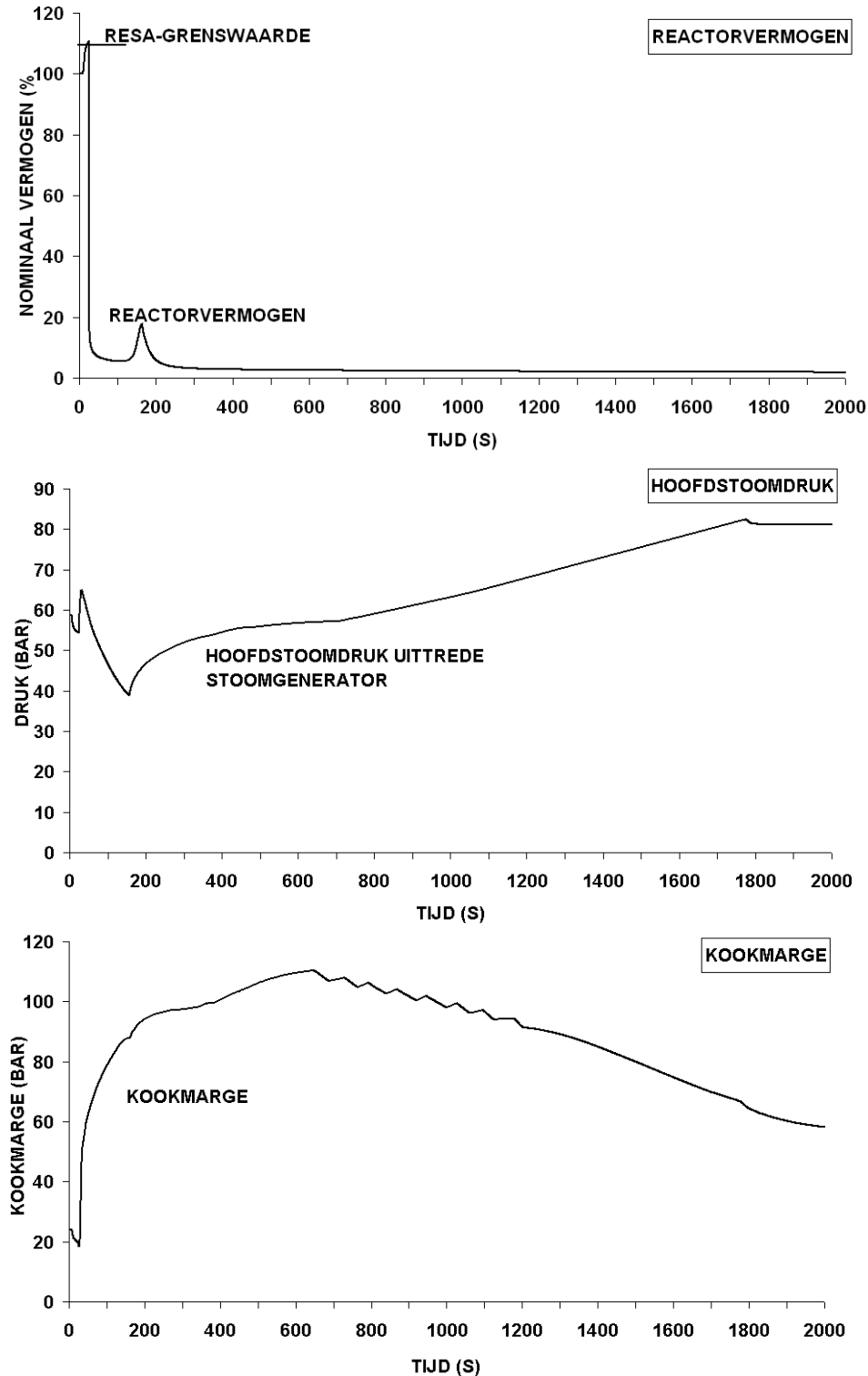
Na circa 1750 seconden is de druk in de hoofdstoomleiding toegenomen tot > 81,4 bar, waardoor de afblaasregelkleppen worden geopend. De warmteafvoer vindt nu plaats via het afblazen van de stoom. De stoomgeneratoren worden gevoed door het noodvoedingswatersysteem. Door het afblazen wordt de toename van de hoofdkoelmiddeltemperatuur gestopt.

Resultaat

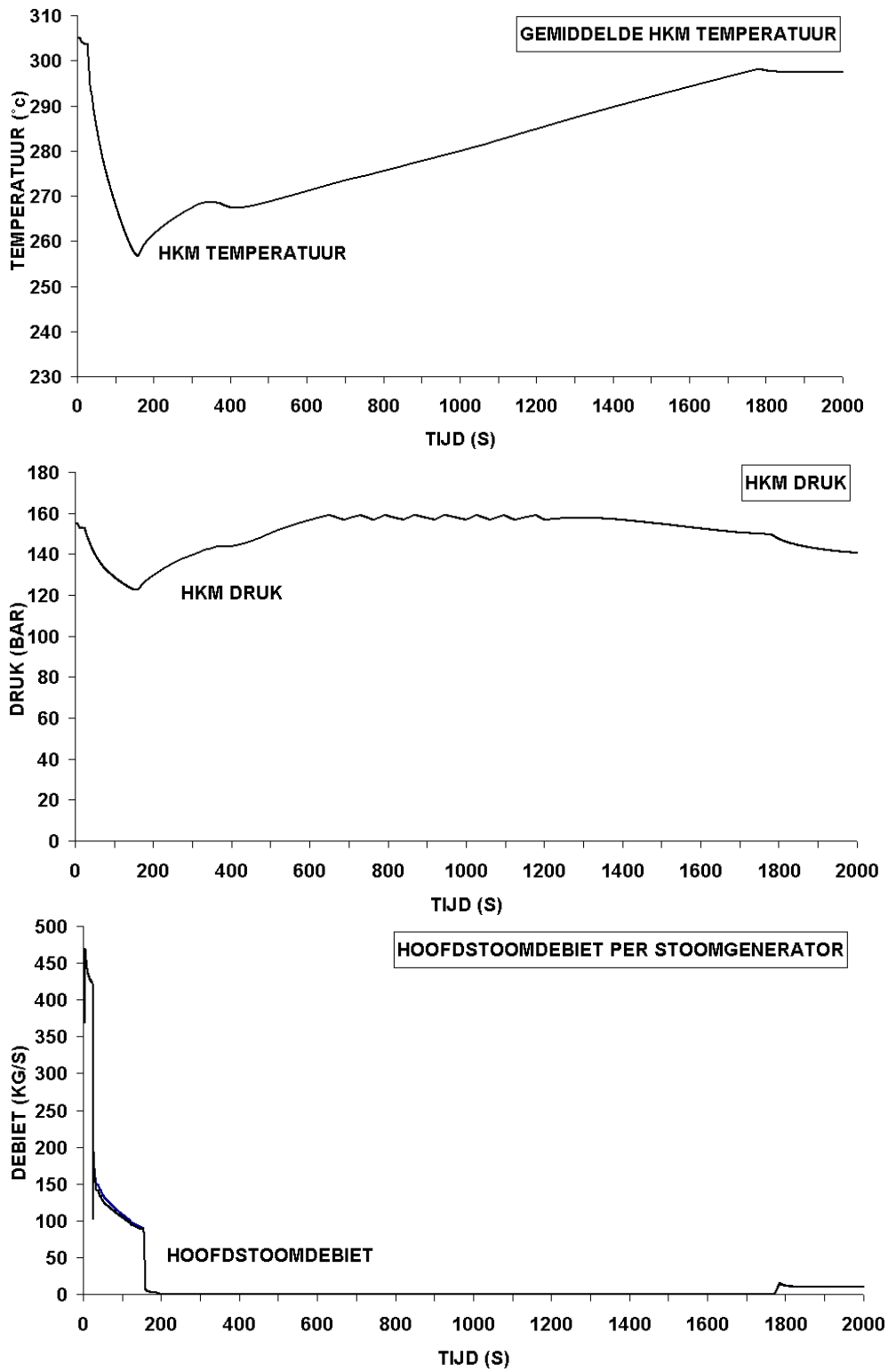
Uit de analyse blijkt, dat de reactor bij deze gebeurtenis wordt afgeschakeld (RESA). In het verdere verloop wordt de reactor door onderkoeling van het hoofdkoelmiddel opnieuw kritisch (voor dit type ongeval is kortstondige kritikaliteit toegestaan). De onderkoeling wordt door het secundair isoleren van de stoomgeneratoren beëindigd.

De kookmarge zakt bij deze gebeurtenis niet onder de 15 bar, waardoor filmkoken en daarmee ontoelaatbare splijstof- en splijstofomhullingstemperaturen niet optreden. De afvoer van de restwarmte wordt door het voeden met het noodvoedingswatersysteem gegarandeerd.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden dus gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.1/1 Onbedoeld openen van appendages (bijv. omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) in de secundaire kringloop (PIE 1.4)



Figuur 7.4.4.1/2 Onbedoeld openen van appendages (bijv. omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) in de secundaire kringloop (PIE 1.4)

7.4.4.2 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)

Doel van de ongevalsanalyse

Bij dit ongeval ontstaat door het snelle droogkoken van een stoomgenerator een primairzijdige onderkoelingstransiënt. Ter beheersing daarvan moeten de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de temperatuur van de splijtstofomhulling moet lager zijn dan 1200 °C;
- handhaving van onderkritikaliteit op lange termijn;
- handhaving van warmteafvoer uit de kern op lange termijn.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- primair reservesuppletiesysteem (TW);
- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- secundair reservesuppletiesysteem (RS);
- hoofdstoomafsluiters en breukbeveiligingskleppen.

Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt aangenomen dat tijdens de bedrijfstoestand "nullast heet onderkritisch" een hoofdstoomleiding breekt tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters, met als gevolg dat de bijbehorende stoomgenerator (SG1) vrijwel droogkookt.

De bedrijfstoestand "nullast heet onderkritisch" is afdekkend voor alle andere bedrijfstoestanden, omdat er door de hogere hoofdstoomtemperatuur en de grotere waterinhoud van de stoomgeneratoren een hoger energieniveau heerst met dus een groter effect als gevolg van onderkoeling.

De grootte van de breuk (0,4 F) is zo gekozen, dat enerzijds kritische stroming bij de stromingsbegrenzer van de betreffende stoomgenerator (SG1) ontstaat, en anderzijds het aanspreken van de grenswaarde voor de drukdalingsgradiënt (DAF-signaal) zo lang mogelijk uitblijft.

Vanwege de grote invloed op de reactiviteit van de hoofdkoelmiddeltemperatuur, wordt bij de analyse van deze gebeurtenis uitgegaan van een kern aan het einde van een cyclus en geen geboreerd water in het hoofdkoelmiddel.

Aangenomen wordt, dat het meest werkzame regelement niet in de kern valt (*stuck rod*), en dat uit het lek alleen zuivere stoom stroomt. Bovendien wordt verondersteld dat het primair reservesuppletiesysteem (TW) alleen de niet getroffen hoofdkoelmiddelkringloop (SG2) voedt.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door de sprongsgewijze toename van het hoofdstoomdebiet bij het ontstaan van het lek, stijgt in de getroffen stoomgenerator (SG1) het waterniveau gedurende korte tijd. Dit heeft tot gevolg dat door de beveiliging tegen overvoeding de hoofd- en noodvoedingswaterafsluiters van deze stoomgenerator worden gesloten. Aansluitend daalt het waterniveau snel.

Door de eveneens snel dalende druk in de hoofdstoomleiding stijgt het drukverschil bij de betreffende breukbeveiligingsklep waardoor deze sluit. Nagenoeg tegelijkertijd spreekt de grenswaarde voor de drukdalingsgradiënt (DAF-signaal) aan waardoor de hoofdoedingswaterverzorging van beide stoomgeneratoren wordt afgesloten, de

hoofdstoomafsluiters en de breukbeveiligingskleppen worden gesloten en de hoofdvoedingswaterpompen worden afgeschakeld.

De hoofdstoomdruk in de intacte stoomgenerator (SG2), die door genoemde acties van het lek geïsoleerd is, blijft na aanvankelijke daling op circa 65 bar staan. Door het gestarte noodvoedingswatersysteem (RL) wordt het ongeveer 0,5 m gedaalde waterniveau in de intacte stoomgenerator weer aangevuld totdat de noodvoedingswatertoevoer wordt gestopt door de beveiliging tegen overvoeding.

De getroffen stoomgenerator (SG1) kan niet van het lek gescheiden worden en kookt in het verdere verloop vrijwel droog, waardoor circa 45 s na het begin van het ongeval de noodvoedingswatertoevoer (RL) wordt geactiveerd. Deze voedingswatertoevoer wordt echter als gevolg van de beveiliging tegen overvoeding verhinderd. Door verdere niveaudaling wordt ongeveer 65 s na het begin van het ongeval door het bereiken van de grenswaarde "SG-niveau < min2" het secundair reserve suppletiesysteem (RS) voor deze stoomgenerator bijgeschakeld. Ongeveer 165 s na het begin van het ongeval is de druk in deze stoomgenerator tot atmosferisch gedaald.

Aan de primaire kant ontstaat door de grote warmteafvoer uit de getroffen stoomgenerator (SG1) een snelle afkoeling van het hoofdkoelmiddel, met als gevolg volumeverkleining, die tot een sterke daling van het niveau in de drukhouder en van de hoofdkoelmiddeldruk leidt.

Hierdoor worden in snelle opeenvolging door de reactorbeveiliging ondermeer de volgende maatregelen in werking gesteld:

- voorbereiden op noodkoeling;
- gebouwafsluiting;
- uitschakelen van de hoofdkoelmiddelpompen;
- bijschakelen van het primair reservesuppletiesysteem (TW);
- bijschakelen van de hogedruk-kerninundatie (TJ).

Na de automatische uitschakeling van de hoofdkoelmiddelpompen komt aanvankelijk in beide kringlopen natuurlijke circulatie op gang. In de van het lek geïsoleerde kringloop komt deze echter circa 100 s na het uitschakelen van de pompen tot stilstand, omdat door de geïsoleerde stoomgenerator (SG2) geen warmte meer wordt afgevoerd. Dit heeft een duidelijke invloed op het verdere verloop van de transiënt.

Op grond van het gepostuleerde enkelvoudig falen, namelijk dat het TW-systeem niet naar de getroffen hoofdkoelmiddelkringloop (SG1) voedt, wordt via TW alleen in de niet-circulerende kringloop (SG2) de concentratie geboreerd water opgevoerd, met als gevolg dat de concentratie geboreerd water in de kernzone nauwelijks verandert. De toevoeging van geboreerd water door de kerninundatiepompen (TJ) eindigt circa 200 s na de start van de pompen, omdat op dat tijdstip de primaire druk weer boven de maximale persdruk van de pompen gestegen is. Door de kortstondige TJ-suppletie wordt de concentratie geboreerd water in de kern van 0 ppm tot ongeveer 100 ppm verhoogd.

Door de voortschrijdende afkoeling van het primair systeem en de daaraan gekoppelde sterke invloed van de hoofdkoelmiddeltemperatuur op de reactiviteit, in combinatie met de gereduceerde afschakelreactiviteit van de regelementen als gevolg van de *stuck rod*-aannname, wordt de reactor ongeveer 50 s na het begin van het ongeval kritisch. Daardoor wordt de verdere afkoeling van de primaire kringloop beëindigd en stelt het reactorvermogen zich in op circa 2,5 % overeenkomend met de secundairzijdige RS-voeding, als tenminste binnen de eerste 30 minuten na het ongeval niet handmatig ingegrepen wordt. Onder deze aanname stabiliseert de reactorintredetemperatuur in de

doorstroomde kringloop (SG1) zich op circa 180 °C, terwijl de stagnerende kringloop (SG2) op circa 250 °C blijft.

De hoofdkoelmiddeldruk stabiliseert zich bij ongeveer 120 bar, zodat het overstortventiel van het TW-systeem niet aanspreekt.

Omdat het zich in de stagnerende kringloop (SG2) bevindende hooggeboreerde water slechts zeer langzaam via convectie met het hoofdkoelmiddel in het reactorvat mengt, vindt er in de eerste 30 minuten na het begin van het ongeval geen noemenswaardige verhoging van de concentratie geboreerd water in de kern plaats. Daardoor komt er voorlopig geen einde aan de vermogensproductie, als tenminste niet handmatig ingegrepen wordt.

Dit is veiligheidstechnisch niet bezwaarlijk, omdat het opgewekte vermogen via het RS-systeem afgevoerd kan worden. Bovendien kan de reactor op ieder moment door handmatige maatregelen in een onderkritische toestand gebracht worden. Om dit te demonstreren is in de analyse verondersteld, dat circa 2000 s na het begin van het ongeval via twee pompen van het volumeregelsysteem (TA) geboreerd water met een concentratie van circa 10.000 ppm aan het primair systeem wordt toegevoegd.

Als gevolg van vertraging door transport in het TA-systeem begint de toename van de concentratie geboreerd water in het primair systeem pas na 150 s na het begin van de voeding door het TA-systeem. Ongeveer 200 s na het begin van voeding is de reactor onderkritisch. Dit ondanks het feit dat, als gevolg van het stagnerende hoofdkoelmiddeldebiet in de niet getroffen kringloop, alleen de TA-voeding in de getroffen kringloop bijdraagt aan de toename van de concentratie geboreerd water. In het verdere verloop van het ongeval daalt de hoofdkoelmiddeltemperatuur. De hierdoor toenemende reactiviteit wordt door de toename van de concentratie geboreerd water ruimschoots gecompenseerd zodat de reactor zeker onderkritisch blijft.

Door de voeding in het primair systeem stijgt de hoofdkoelmiddeldruk weer.

Aan het einde van de analyse (circa 1000 s na het begin van TA-voeding) bedraagt de onderkritikaliteit circa 5,5 % bij een concentratie geboreerd water in de kern van circa 750 ppm.

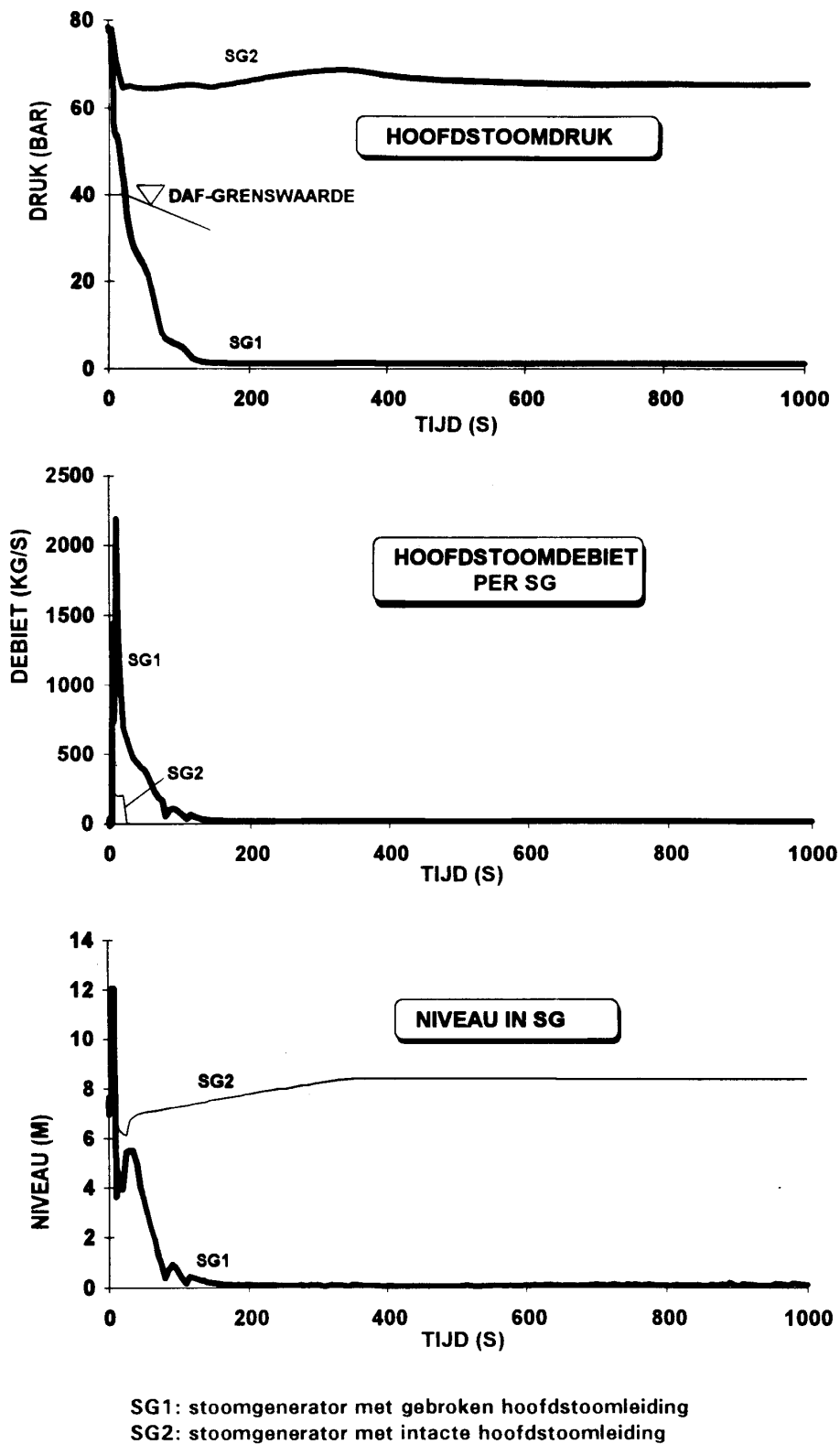
Resultaat

De analyse toont aan, dat het ongeval ook onder extreem conservatieve randvoorwaarden door het bereiken van de veiligheidssystemen beheerst wordt. De afvoer van de restwarmte wordt door voeden met het RS-systeem gegarandeerd.

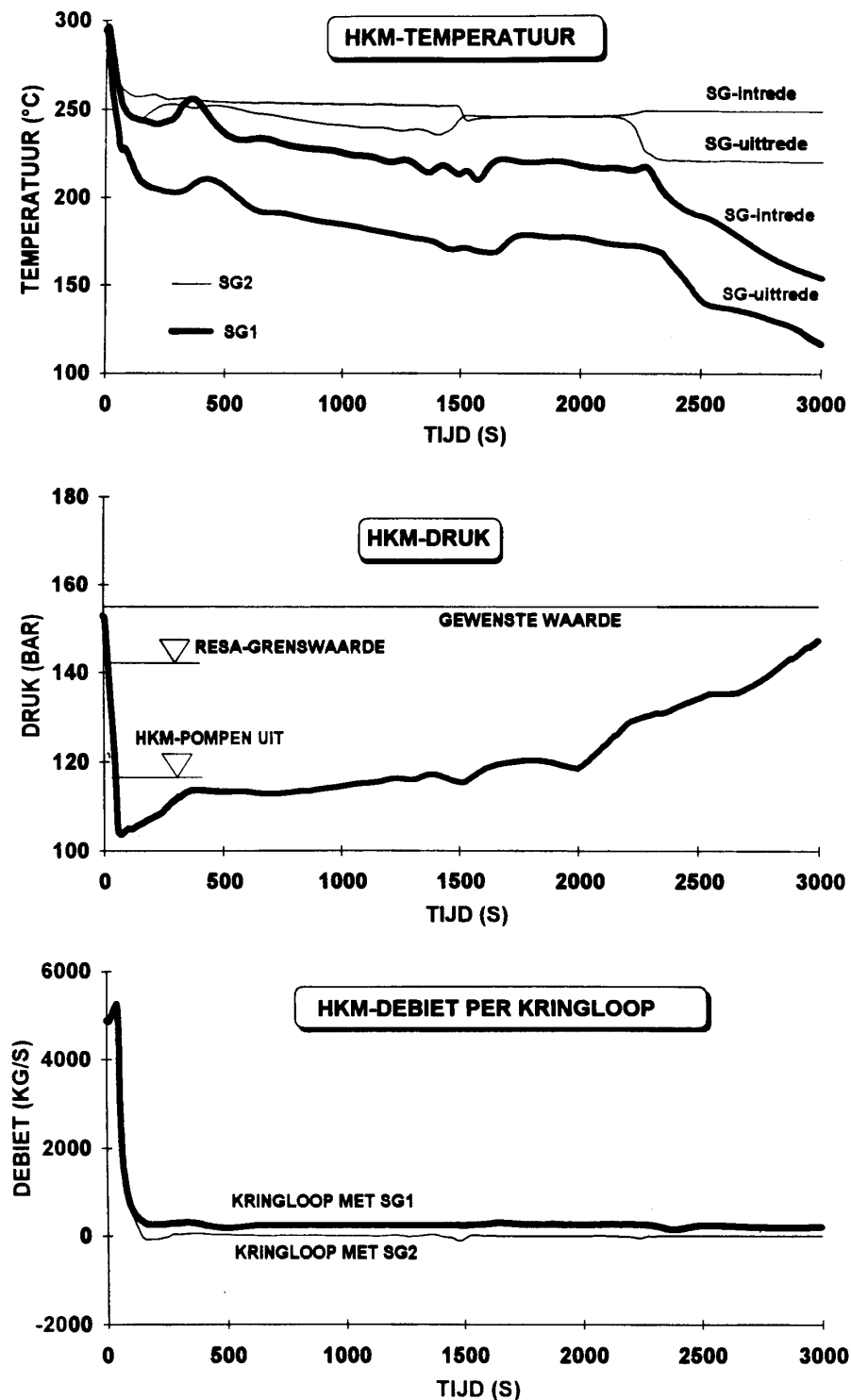
De onderkritikaliteit op lange duur is door vermenging van het geboreerde water uit het TW-systeem gewaarborgd; dit kan op korte termijn ook door handmatig ingrijpen bereikt worden.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

De restwarmte kan ook door alléén het noodvoedingswatersysteem (RL) via de intacte stoomgenerator afgevoerd worden. Dit scenario is niet geanalyseerd, omdat het hier gaat om een onderkoelingstransiënt, waarbij het primaire systeem door het secundaire systeem zoveel mogelijk gekoeld wordt.

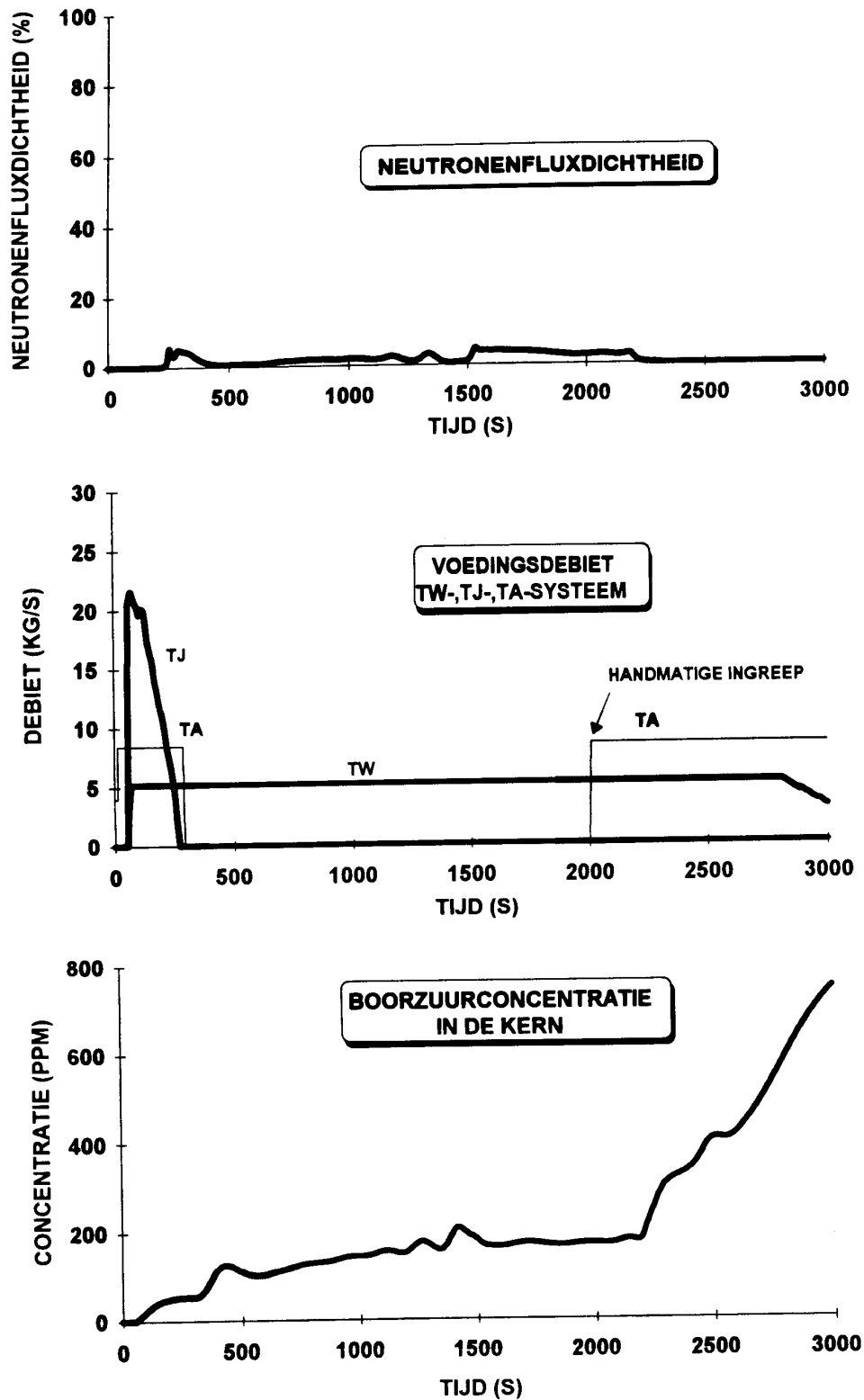


Figuur 7.4.4.2/1 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)



SG1: stoomgenerator met gebroken hoofdstoomleiding
 SG2: stoomgenerator met intacte hoofdstoomleiding

Figuur 7.4.4.2/2 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)



Figuur 7.4.4.2/3 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)

7.4.4.3 Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (PIE 1.5.6)

Doel van de ongevalsanalyse

Bij dit ongeval ontstaat door de lekkage van de hoofdstoomleiding een primairzijdige onderkoelingstransiënt. Ter beheersing daarvan moeten de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de temperatuur van de splijtstofomhulling moet lager zijn dan 1200 °C;
- handhaving van onderkritikaliteit op lange termijn;
- handhaving van warmteafvoer uit de kern op lange termijn;
- de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk) niet overschrijden.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- primair reservesuppletiesysteem (TW);
- drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aan de primaire zijde;
- hoofdstoomafsluiters en afblaasstation voor de drukbeveiliging van de secundaire zijde.

Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt aangenomen dat tijdens vollast-bedrijf een lekkage van de hoofdstoomleiding in de veiligheidsomhulling optreedt. De veronderstelde grootte van het lek bedraagt 60 cm² conform de uitgangspunten voor de faalwijzen van hoogenergetische leidingen (paragraaf 5.9). Bij deze lekgrootte wordt de grenswaarde voor de drukdalingsgradiënt (DAF-signaal) niet overschreden en wordt de defecte stoomgenerator derhalve niet automatisch geïsoleerd. De bij de lekkage vrijgekomen stoom zal leiden tot een drukopbouw in de veiligheidsomhulling. Deze druk mag de ontwerpwaarde voor de druk van de veiligheidsomhulling niet overschrijden (zie paragraaf 7.5).

Vanwege de grote invloed op de reactiviteit van de hoofdkoelmiddeltemperatuur, wordt bij de analyse van deze gebeurtenis uitgegaan van een kern aan het einde van een cyclus en slechts een geringe hoeveelheid geboreerd water in het hoofdkoelmiddel.

Aangenomen wordt dat het meest werkzame regelement niet in de kern valt (*stuck rod*). Bovendien wordt verondersteld dat slechts één pomp van het primair reservesuppletiesysteem (TW) beschikbaar is.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Als gevolg van de veronderstelde lekkage in de hoofdstoomleiding zal stoom in de veiligheidsomhulling vrijkomen en zal de druk toenemen. Na ongeveer 10 seconden wordt de grenswaarde "druk in veiligheidsomhulling > max2" bereikt en volgt een reactor- en turbinesnelafschakeling (RESA, TUSA). Door het sluiten van de turbinesluitkleppen stijgt aanvankelijk de hoofdstoomdruk, maar als gevolg van de lekkage neemt deze weer af. De grenswaarde voor de drukdalingsgradiënt (DAF-signaal) wordt niet overschreden, waardoor geen isolatie van de stoomgeneratoren plaatsvindt. Beide stoomgeneratoren blijven daarom het lek voeden.

Als gevolg van de daling van de hoofdstoomdruk, daalt de verzadigingsdruk in de stoomgeneratoren en wordt meer energie aan de primaire kringloop onttrokken. De afkoeling van het hoofdkoelmiddel, met als gevolg volumeverkleining, leidt tot een daling van het niveau in de drukhouder en van de hoofdkoelmiddeldruk. De daling leidt niet tot het aanspreken van de noodkoelcriteria.

Door de voortschrijdende afkoeling van het primair systeem en de daaraan gekoppelde sterke invloed van de hoofdkoelmiddeltemperatuur op de reactiviteit, in combinatie met de gereduceerde afschakelreactiviteit van de regelementen als gevolg van de *stuck rod*-aanneمة, wordt de reactor ongeveer 400 seconden na het begin van het ongeval weer kritisch. Daardoor wordt de verdere afkoeling van de primaire kringloop beëindigd en ontstaat een quasi-evenwichtssituatie tussen de primaire en secundaire kringloop waarbij het reactorvermogen zich op circa 5% instelt. De stoomzijdige lekkage is voldoende klein om met behulp van het voedingswatersysteem het niveau in de stoomgenerator op een normale waarde te kunnen regelen.

Om de reactor definitief af te schakelen wordt na 30 minuten een handmaatregel genomen waarbij middels een pomp van het TW-systeem de concentratie geboreerd water wordt verhoogd. Dit leidt tot een afname van het reactorvermogen.

Voor het stoppen van de lekkage van de hoofdstoomleiding worden de hoofdstoomafsluiters gesloten. Als gevolg van de stoomzijdige scheiding van de stoomgeneratoren neemt de hoofdstoomdruk in de intacte stoomgenerator toe en de hoofdstoomdruk in de getroffen stoomgenerator af. De getroffen stoomgenerator kan zodoende worden geïdentificeerd en geïsoleerd. De getroffen stoomgenerator zal vervolgens droogkoken en de lekkage is daarmee beëindigd. Tijdens deze handelingen wordt in eerste instantie het grootste deel van het reactorvermogen over de getroffen stoomgenerator afgevoerd. Dit resulteert in een verdere afname van de hoofdkoelmiddeltemperatuur. De daaraan gekoppelde reactiviteitstoename wordt gecompenseerd door de verhoging van de concentratie geboreerd water en er stelt zich een nieuw quasi-evenwichtssituatie in bij een reactorvermogen van circa 3%. Pas na het volledig droogkoken van de defecte stoomgenerator, ongeveer 43 minuten na aanvang van het ongeval, gaat de hoofdkoelmiddeltemperatuur stijgen en wordt de reactor definitief onderkritisch.

Als gevolg van het dalende niveau in de getroffen stoomgenerator worden door het reactorbeveiligingssysteem (YZ) de hoofdkoelmiddelpompen gestopt en het volumeregelsysteem (TA) geïsoleerd. Hierdoor kan de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder niet meer worden geregeld en worden door de toenemende hoofdkoelmiddeldruk de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aangesproken. Door de verhoogde hoofdkoelmiddeldruk kan het TW-systeem niet meer injecteren en bedraagt de maximale concentratie geboreerd water in de kern uiteindelijk circa 140 ppm.

De hoofdstoomdruk in de intacte stoomgenerator neemt toe tot de aanspreekwaarde van de afblaaskleppen van de secundaire zijde en stabiliseert zich bij ongeveer 81 bar. Met het stabiliseren van de hoofdstoomdruk, stabiliseren zich ook de hoofdkoelmiddeltemperaturen bij ongeveer 312°C en de hoofdkoelmiddeldruk bij ongeveer 172 bar.

De installatie kan onder deze condities op normale wijze worden afgekoeld, zodat de afvoer van de vervalwarmte door het nakoelsysteem TJ kan worden overgenomen.

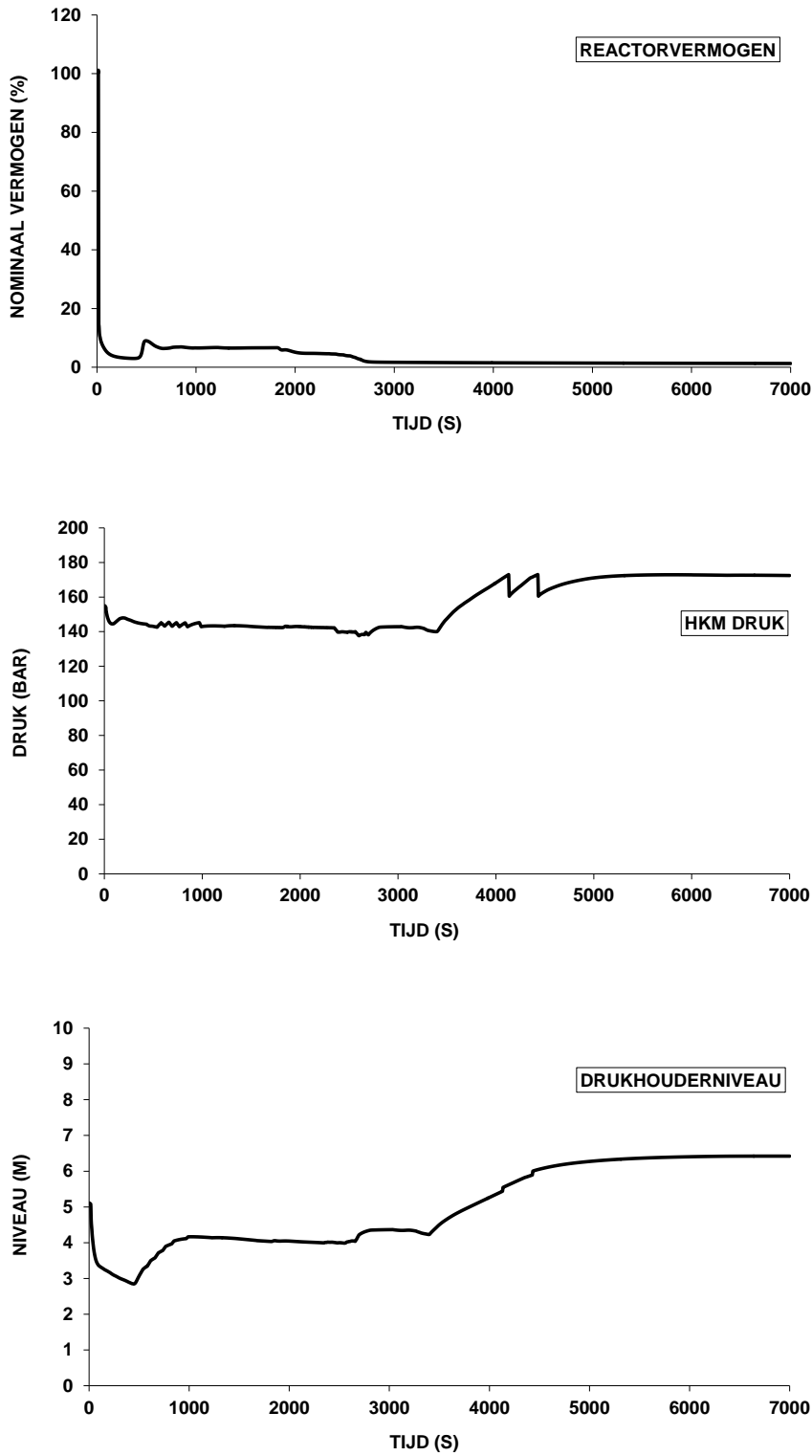
Gedurende het verloop van dit ongeval komt circa 135.000 kg stoom in de veiligheidsomhulling vrij. Dit resulteert in een druk binnen de veiligheidsomhulling van maximaal 4,60 bar (zie paragraaf 7.6).

Resultaat

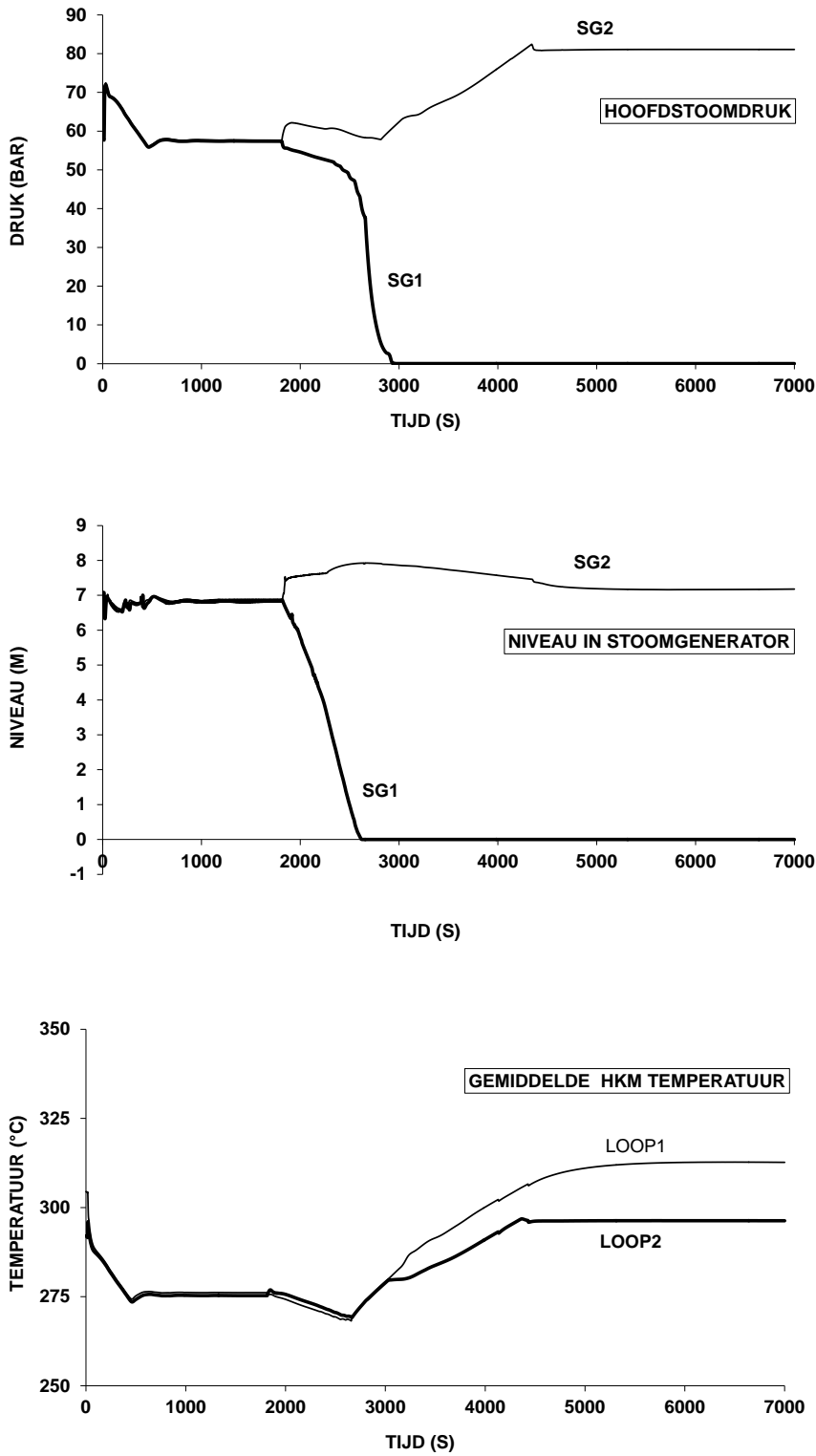
De analyse toont aan dat het ongeval kan worden beheerst. Voor het beëindigen van de lekkage en het zekerstellen van de onderkritikaliteit op lange termijn zijn echter handmaatregelen noodzakelijk, zoals het isoleren van de defecte stoomgenerator en het verhogen van de concentratie geboreerd water door gebruik te maken van het TW-systeem (of TA-systeem).

De hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk blijven onder de maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpwaarde).

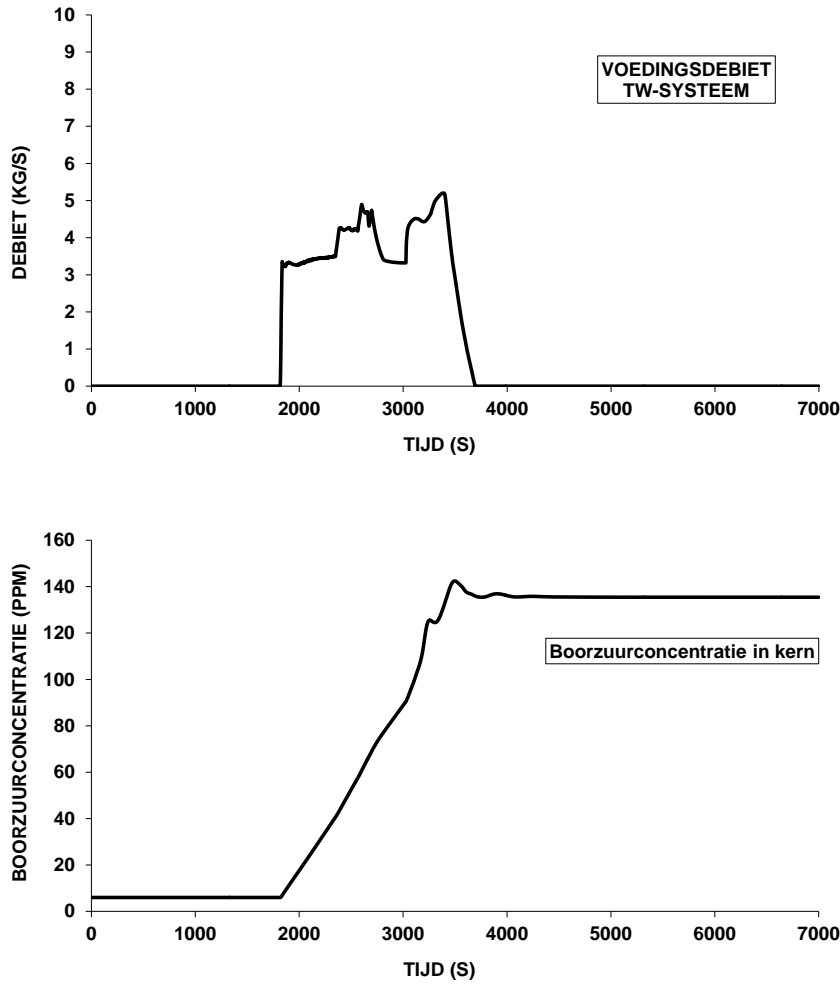
De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.3/1 Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (PIE 1.5.6)



Figuur 7.4.4.3/2 Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (PIE 1.5.6)



Figuur 7.4.4.3/3 Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (PIE 1.5.6)

7.4.4.4 TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)

Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen niet onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijtstof- en splijtstofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarden komen;
- de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aan de primaire zijde mogen niet aanspreken.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- afblaasstation voor de drukbeveiliging van de secundaire zijde en warmteafgifte naar de omgeving.

Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval is de secundairzijdige warmteafgifte door de turbinesnelafschakeling (TUSA) verhinderd, zodat de hoofdkoelmiddeldruk stijgt. Als conservatieve randvoorwaarde is aangenomen dat sproeien in de drukhouder faalt. Bovendien is verondersteld dat het eerste RESA-sigitaal (hoofdkoeldruk > max) wordt genegeerd.

Op grond van de stijgende hoofdkoelmiddeltemperatuur bij het begin van de transiënt is een beschouwing van de kerntoestand bij cyclusbegint ongunstiger voor het ongevalsverloop dan bij cycluseinde. Het ongeval begint daarom bij vollastbedrijf van de installatie. De turbine-omloop staat voor dit ongeval per definitie niet ter beschikking.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Bij storingen aan de turbine, generator of condensor vindt turbinesnelafschakeling (TUSA) plaats. De hoofdstoom wordt dan via de turbine-omloop rechtstreeks naar de condensor geleid. Als de condensor niet ter beschikking staat, worden de omloopafsluiters vergrendeld en wordt de hoofdstoom via de afblaasregelkleppen en zonodig via de veiligheidskleppen in het afblaasstation over het dak afgeblazen.

Door de TUSA wordt het generatorvermogen zeer snel gereduceerd, zodat op grond van het verschil tussen reactor- en generatorvermogen (> 30 %) automatisch inworp van de regelementen volgt. Het reactorvermogen daalt hierdoor tot circa 50 %.

Door het sluiten van de turbinesneluiventielen stijgt de druk in de stoomgeneratoren. Deze drukverhoging heeft een verhoging van de primairzijdige uittredetemperatuur van de stoomgeneratoren tot gevolg en daarmee van de intredetemperatuur van de reactor. De gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur stijgt, ondanks de vermogensreductie door de inworp van de regelementen. Deze temperatuurverhoging resulteert in een verhoging van het niveau in de drukhouder en daarmee ook van de hoofdkoelmiddeldruk. Omdat het bedrijfsmatig sproeien in de drukhouder wordt geacht te zijn uitgevallen, stijgt de hoofdkoelmiddeldruk tot "koelmiddeldruk > max". Er volgt echter geen reactorsnelafschakeling (RESA) omdat dit signaal in de analyse wordt genegeerd.

De druk in de hoofdstoomleiding neemt zover toe dat circa 11 seconden na het begin van het ongeval de afblaasregelkleppen openen. Bijna gelijktijdig wordt de grenswaarde “druk in stoomgeneratoren > 82,4 bar” bereikt en volgt een reactorsnelafschakeling (RESA).

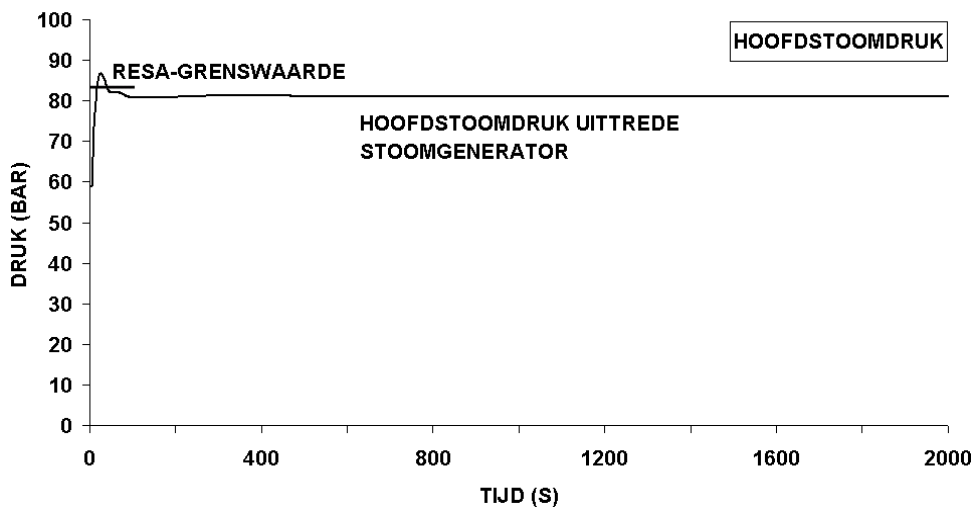
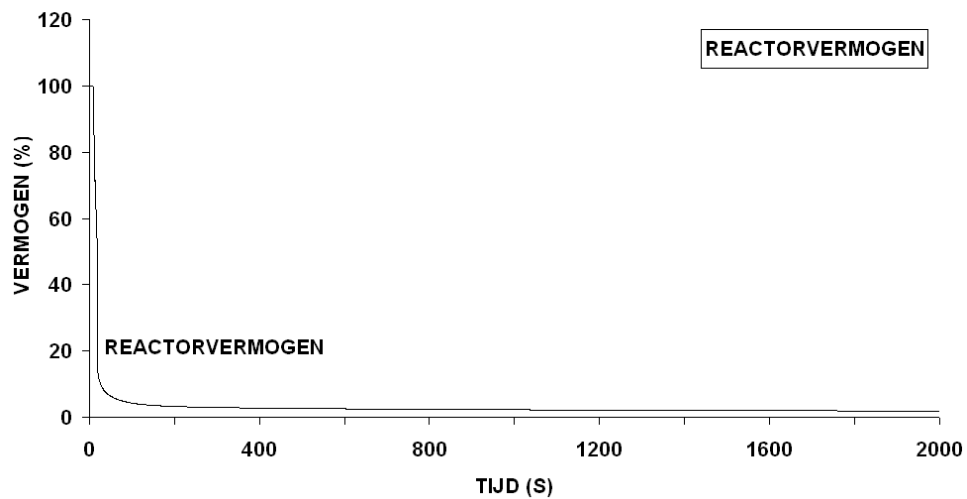
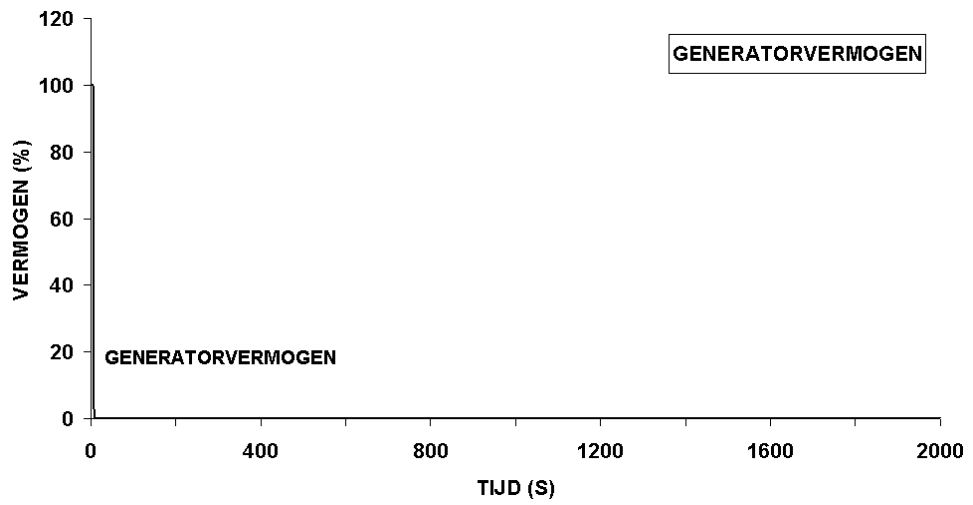
Ondanks de warmteafvoer via de geopende afblaasregelkleppen neemt de druk in de hoofdstoomleiding verder toe en worden bij een hoofdstoomdruk > 86,3 bar twee veiligheidskleppen geopend.

Korte tijd na de RESA neemt de druk van het hoofdkoelmiddel niet verder toe.

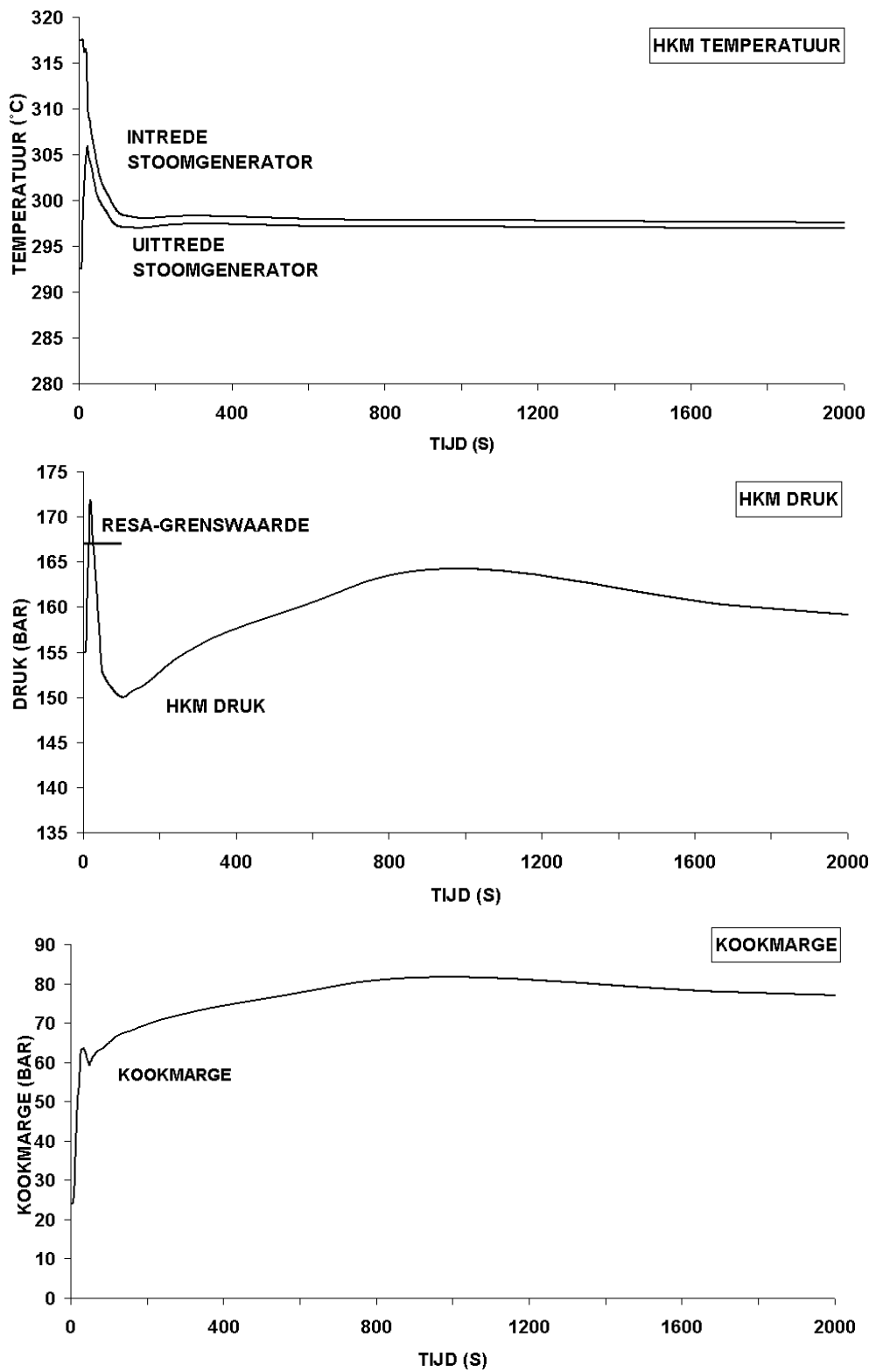
Resultaat

De analyse toont aan dat de reactor bij dit ongeval wordt afgeschakeld (RESA). In het verdere verloop wordt de primaire warmte afgevoerd door secundair stoom af te blazen.

De kookmarge zakt tijdens dit ongeval niet onder de 15 bar, waardoor filmkoken en daarmee ontoelaatbare splijstof- en splijstofomhullingstemperaturen niet optreden. Ook de aanspreekwaarde voor de drukhouder veiligheidsklep wordt niet bereikt en de toelaatbare hoofdkoelmiddeldruk en hoofdstoomdruk worden niet overschreden. Alle voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden dus gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.4/1 TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)



Figuur 7.4.4.4/2 TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)

7.4.4.5 Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)

Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijtstof- en splijtstofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarden komen;
- de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aan de primaire zijde mogen niet aanspreken.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- afblaasstation voor de drukbeveiliging van de secundaire zijde en warmteafgifte naar de omgeving;
- secundair reservesuppletiesysteem (RS).

Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt aangenomen dat een turbinesnelafschakeling (TUSA) bij volvermogen gevolgd wordt door het uitvallen van de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf.

Door de stijgende hoofdkoelmiddeltemperatuur in het begin van de transiënt is een beschouwing van de kerntoestand bij cyclusbegint gunstiger voor het ongevalsverloop dan bij cycluseinde.

Aangenomen wordt, dat het eerste RESA-signaal wordt genegeerd. Bovendien wordt als enkelvoudig falen verondersteld, dat het noodvoedingswatersysteem (RL) niet ter beschikking staat.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Met de TUSA wordt het uitvallen van de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf aangenomen.

Na een vertraging van circa 2 s worden de dieselaggregaten van de noodstroomverzorging gestart en worden alle verbruikers afgeschakeld. Volgens een voorgeprogrammeerde procedure worden vervolgens de door noodstroom gevoede systemen, indien vereist, in groepen weer bijgeschakeld. De grote verbruikers, zoals de hoofdkoelmiddelpompen, de hoofdvoedingswaterpompen en de hoofdcondensaatpompen, zijn niet op de noodstroomvoorziening aangesloten en blijven dus in het verdere verloop van het ongeval spanningsloos.

Door het uitvallen van de hoofdkoelmiddelpompen wordt ongeveer 1 s na het begin van het ongeval de reactorbeveiligingsgrenswaarde "toerental beide hoofdkoelmiddelpompen < min" bereikt. Op dit signaal zou RESA volgen; er wordt echter verondersteld dat dit niet gebeurt. Daarom wordt door het verschil tussen reactor- en generatorvermogen (>30 %) automatisch het inwerpen van regelementen geïnitieerd. Kort daarna komt verdere inworp van regelementen tot stand op grond van het grenswaardesignaal "pomputval", waardoor het reactorvermogen tot circa 20 % wordt teruggebracht. Door de uitval van de hoofdvoedingswaterpompen worden kort daarna alle regelementen door de reactorvermogensbegrenzing ingeworpen en wordt de reactor zodoende

afgeschakeld. Als gevolg van de vermogensafname dalen de hoofdkoelmiddeltemperatuur en de hoofdkoelmiddeldruk kortstondig.

Door het uitvallen van de hoofdkoelmiddelpompen loopt het hoofdkoelmiddeldebiet sterk terug, zodat het primairzijdig opgewekte vermogen niet volledig op de secundaire zijde overgedragen kan worden. Daardoor stijgt de hoofdkoelmiddeltemperatuur. Dit veroorzaakt door uitzetting een verhoging van het niveau in de drukhouder en een verhoging van de hoofdkoelmiddeldruk. Omdat de reactor is afgeschakeld, is de drukverhoging beperkt, zodat de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder niet aanspreken.

Door het uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen zou voeding naar de stoomgeneratoren door het noodvoedingswatersysteem (RL) volgen. Verondersteld wordt echter dat het noodvoedingswatersysteem niet ter beschikking staat. Het niveau in de stoomgeneratoren daalt hierdoor zover tot bij het bereiken van het reactorbeveiligingssignaal "SG-niveau < min2" het reservesuppletiesysteem (RS) bijkomt (ongeveer 1700 s na het begin van het ongeval).

Door de in eerste instantie onderbroken warmteafvoer aan de secundaire zijde, neemt de hoofdstoomdruk toe. Het turbine-omloopstation is door het uitvallen van de hoofdcondensaatpompen niet beschikbaar, zodat de warmteafvoer over het door noodstroom gevoede afblaasstation plaatsvindt, totdat de eigenbedrijfsverzorging weer ter beschikking staat. Hiervoor is een tijdspanne van circa 20 uur beschikbaar. Als te verwachten is dat de eigenbedrijfsverzorging niet binnen deze tijd beschikbaar komt, moet de installatie handmatig in de toestand koud-onderkritisch gebracht worden.

Bij de analyse is aangenomen, dat het bedienend personeel de installatie 30 minuten na het begin van het ongeval afregelt. Normaal gesproken zou eerst getracht worden, het op noodstroom aangesloten noodvoedingswatersysteem (RL) handmatig op te starten, voordat met het uitbedrijfnemen begonnen wordt. Als verzwarende omstandigheid is echter aangenomen dat het noodvoedingswatersysteem niet ter beschikking staat, zodat met behulp van het reservesuppletiesysteem (RS) afgeregeld moet worden.

Volgens de bedrijfsprocedures moet de installatie met 50 K/h afgeregeld worden. Door de voeding met het koude water uit het RS-systeem ontstaat er automatisch een afkoelgradiënt van circa 50 K/h, zonder dat de afblaasregeling daarbij noemenswaardig in bedrijf komt. Bij het bereiken van een hoofdkoelmiddeltemperatuur van circa 296 °C, moet de primaire druk door sproeien in de drukhouder met het TA-systeem met een snelheid van ongeveer 2,5 bar/min tot circa 90 bar verlaagd worden.

Aan het eind van de analyse begint zich een dampbel in de ruimte onder het reactorvatdeksel te vormen, die tijdens het verdere verloop groter wordt als gevolg van de primairzijdige drukdaling. Het verdere verloop van de uitbedrijfname vindt plaats volgens de bedrijfsprocedures, en is in deze analyse niet meer gesimuleerd.

De DNB-verhouding komt in het verloop van het ongeval niet onder de betreffende toelaatbare waarde.

Resultaat

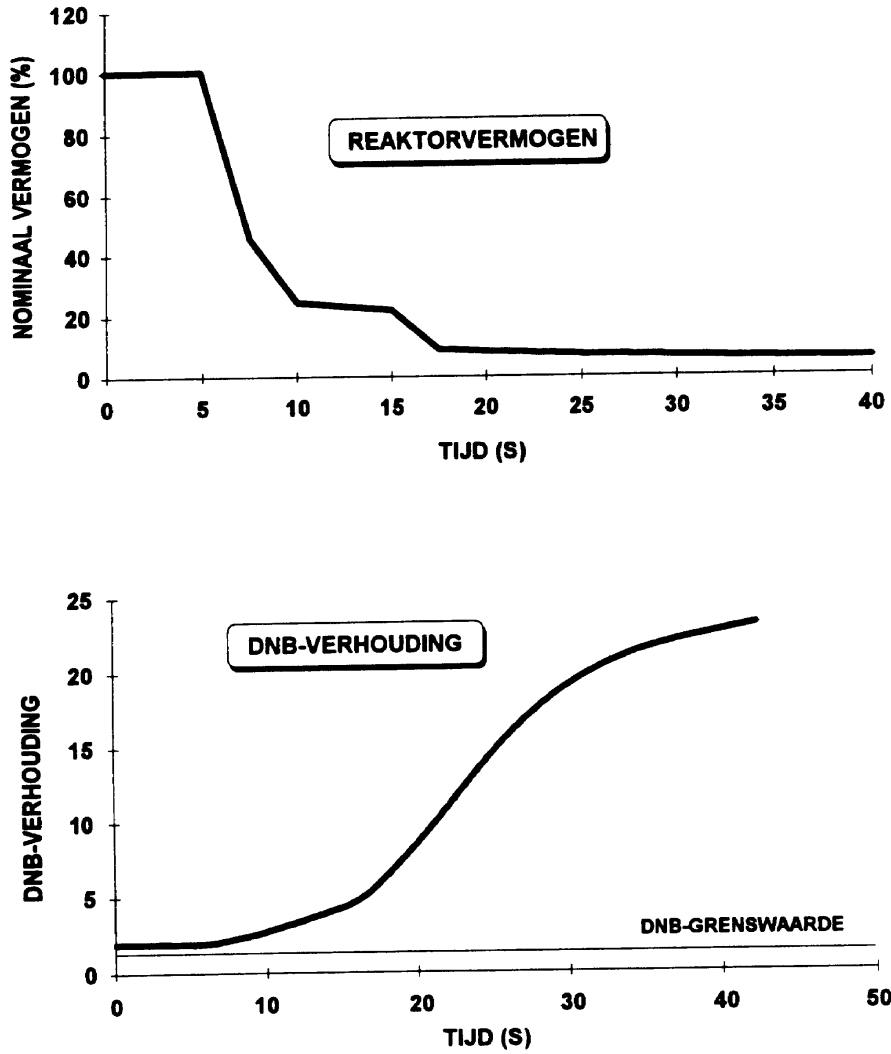
De analyse toont aan, dat bij een langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) de warmteafvoer is verzekerd. De DNB-verhouding komt niet onder de betreffende toelaatbare waarde.

De toelaatbare hoofdkoelmiddeldruk (1,1 x ontwerpdruk, circa 193 bar) en de toelaatbare hoofdstoomdruk (1,1 x ontwerpdruk, circa 100 bar) worden niet bereikt.

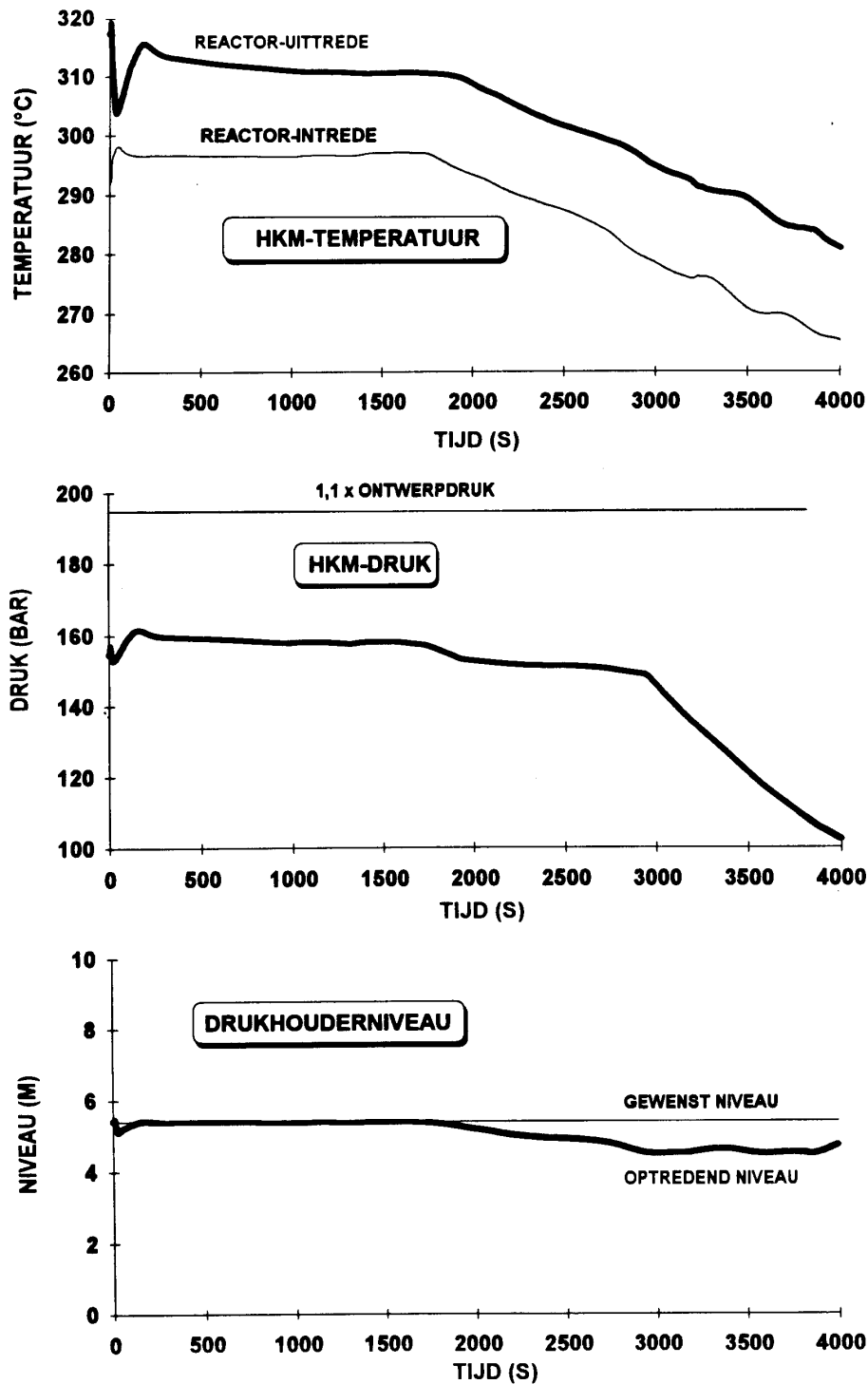
De uitbedrijfname volgens de bedrijfsprocedures leidt niet tot een ontoelaatbare bedrijfstoestand.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

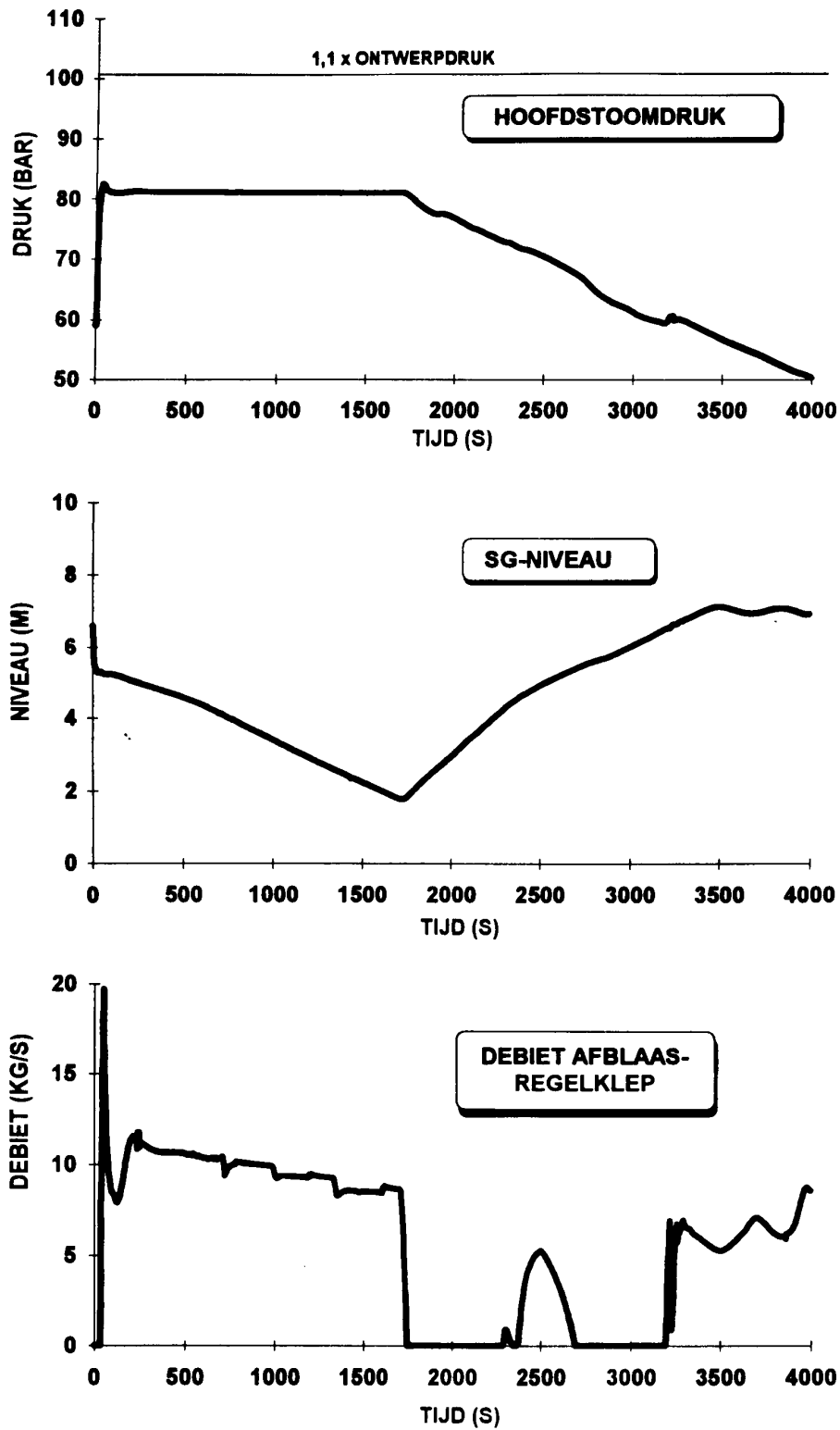
Omdat filmkoken vermeden wordt en ook de hoofdkoelmiddel- en de hoofdstoomdruk onder 1,1 x ontwerpdruk blijven zijn door deze analyse de kortstondige noodstroomsituatie (PIE 2.5.1) en de uitval van beide hoofdkoelmiddelpompen (PIE 3.1) afgedekt.



Figuur 7.4.4.5/1 Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)



Figuur 7.4.4.5/2 Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)



Figuur 7.4.4.5/3 Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)

7.4.4.6 Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)

Doel van de ongevalsanalyse

Het uitvallen van de hoofd- en noodvoedingswaterpompen (RL) veroorzaakt een storing in de warmteafvoer en daarmee een verhoging van de druk en de temperatuur in het primair systeem.

Daarom moeten de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijtstof- en splijtstofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarde komen;
- de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder mogen niet aanspreken.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- secundair reservesuppletiesysteem (RS).

Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt verondersteld, dat bij vollast beide hoofdvoedingswaterpompen uitvallen, zonder dat de reserve pomp in bedrijf komt. Bovendien wordt extra verondersteld, dat het noodvoedingswatersysteem niet beschikbaar is.

Omdat bij het begin van de transiënt de hoofdkoelmiddeltemperatuur stijgt, is het beschouwen van de kerntoestand bij cyclusbegint gunstiger voor het ongevalsverloop dan bij cycluseinde (geringere invloed op de reactiviteit).

Er wordt conservatief aangenomen, dat het door het verminderde voedingswaterdebiet opgewekte RL-RELEB-signaal "inworp van alle regelementen" geen uitwerking heeft.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen gaat het voedingswaterdebiet sprongsgewijs omlaag. De hoofdstoomdruk stijgt enigszins, omdat het vermogen dat eerst voor de opwarming van het voedingswater nodig was nu voor de stoomproductie beschikbaar komt. Het uitvallen van de voedingswaterpompen zou tot het aanspreken van RL-RELEB leiden en dus tot inworp van alle regelementen. In de analyse wordt dit signaal echter genegeerd.

Omdat bij dalend niveau in de stoomgeneratoren de warmteoverdracht aan de stoomgeneratorpijpen slechter wordt, stijgen de hoofdkoelmiddeltemperatuur, het niveau in de drukhouder en de hoofdkoelmiddeldruk. Dit leidt door de invloed op de reactiviteit van de hoofdkoelmiddeltemperatuur tot een lichte verlaging van het reactorvermogen. Gelijktijdig reageert de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling op de stijgende temperatuur door de regelementen in te sturen. Dit heeft echter vanwege de geringe invloed op de reactiviteit van de elementen in bijna geheel getrokken toestand, nauwelijks invloed op het reactorvermogen. De kookmarge wordt groter, omdat de temperatuurverhoging van het hoofdkoelmiddel door de drukverhoging overgecompenseerd wordt.

Ongeveer 40 s na het begin van het ongeval is het niveau in de stoomgeneratoren zo ver gedaald, dat RESA volgt door het signaal "SG-niveau < min1". De door hetzelfde signaal aangestuurde start

van de noodvoedingswaterpompen (RL) heeft geen effect, omdat conservatief verondersteld is dat deze niet ter beschikking staan.

Na de RESA daalt het reactorvermogen snel naar het vervalwarmtevermogen. De hoofdkoelmiddeldruk en -temperatuur, alsmede het niveau in de drukhouder dalen eveneens, waarbij in het verdere verloop het niveau in de drukhouder en de hoofdkoelmiddeldruk door de desbetreffende regelingen nagenoeg constant gehouden worden.

De hoofdstoomdruk stijgt na de RESA snel, en wordt door de regeling van de turbine-omloop begrensd op de waarde die correspondeert met nullast-vermogen. Omdat voor het afvoeren van de vervalwarmte nog steeds stoom via de turbine-omloop afgevoerd wordt, dalen de niveaus in stoomgeneratoren totdat door het signaal "SG-niveau < min2" het secundair reservesuppletiesysteem (RS) in bedrijf komt.

De hoofdstoomdruk is tijdens het voeden van de stoomgeneratoren door het RS-systeem aan kleine schommelingen onderhevig, daar van tijd tot tijd stoom door het gesuppleerde koude RS-water gecondenseerd wordt, hetgeen tot drukdaling leidt totdat weer de condities voor verzadiging zijn bereikt. Daarna stijgt het niveau in de stoomgeneratoren en bereikt ongeveer 1800 s na het begin van het ongeval de normale waarde.

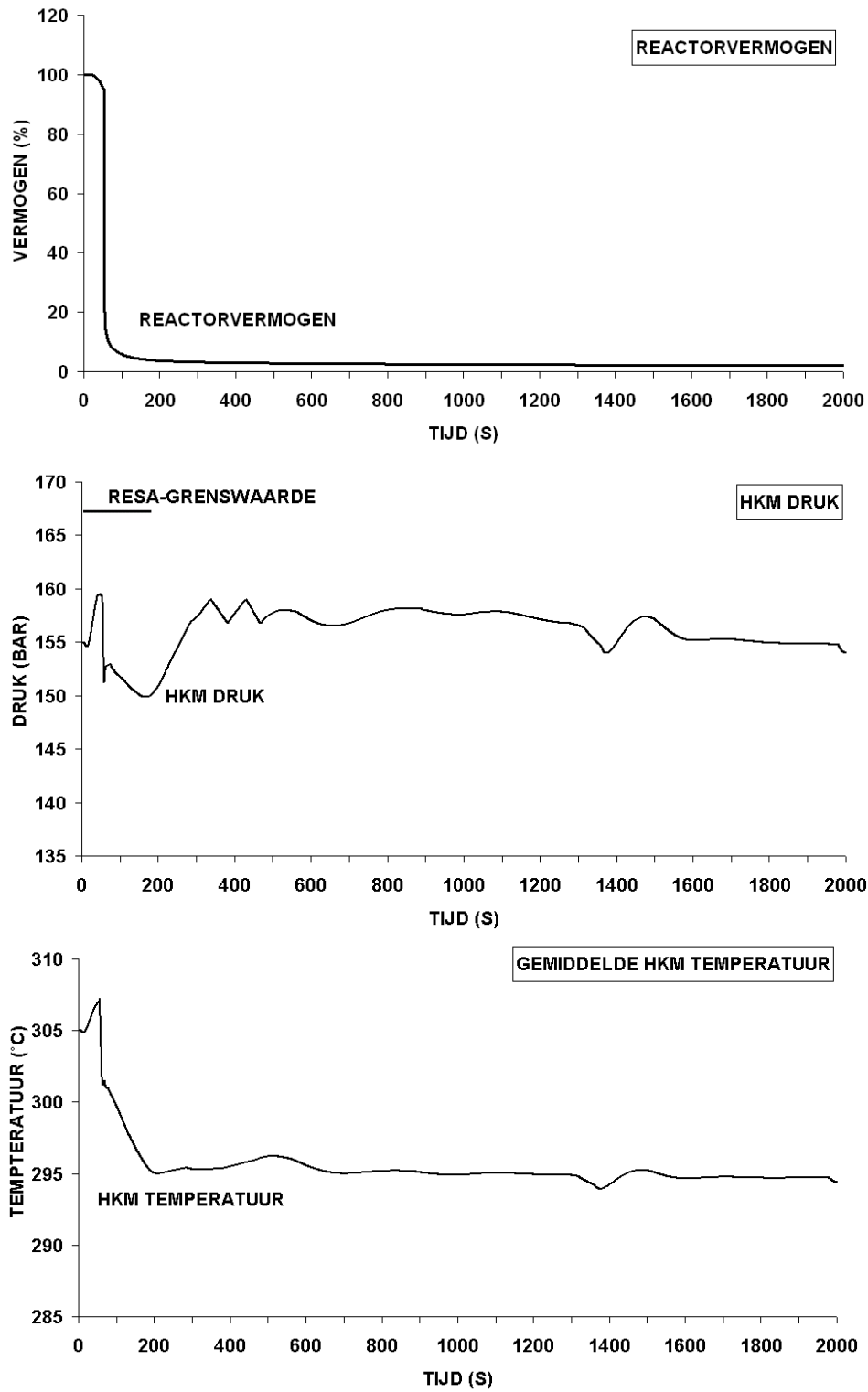
Resultaat

De analyse toont aan dat de installatie bij dit ongeval betrouwbaar afgeschakeld wordt, ook als verondersteld wordt dat het RL-RELEB-signaal "inworp van alle elementen" genegeerd wordt. Bij het veronderstelde uitvallen van de noodvoedingswaterpompen worden de beide stoomgeneratoren door het reservesuppletiesysteem (RS) weer opgevuld. De warmteafvoer is zodoende gegarandeerd.

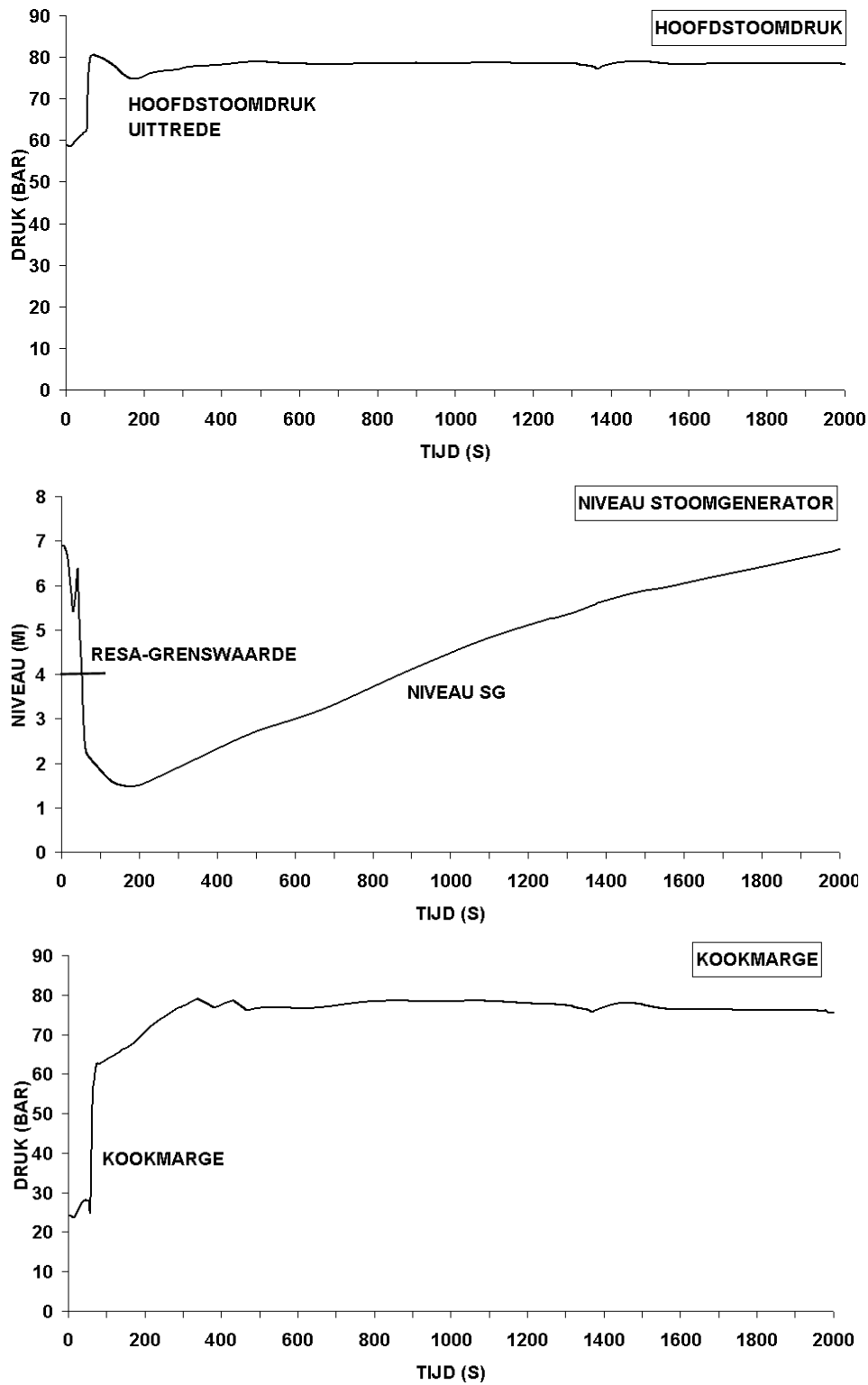
De kookmarge neemt tijdens het ongeval niet af tot onder de betreffende grenswaarde zodat ook de DNB-verhouding boven de betreffende grenswaarde blijft. Daardoor treedt filmkoken niet op en worden in de splijststof en de splijststofomhulling geen ontoelaatbare temperaturen bereikt.

De hoofdkoelmiddeldruk wordt door de drukregeling middels sproeien onder 160 bar gehouden. De drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder spreken niet aan. Ten opzichte van de maximaal toelaatbare druk (1,1 x ontwerpdruk, circa 193 bar) blijft een ruime marge gehandhaafd. De hoofdstoomdruk houdt ten opzichte van de maximaal toelaatbare druk (1,1 x ontwerpdruk, circa 100 bar) een ruime marge.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.6/1 Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)



Figuur 7.4.4.6/2 Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)

7.4.4.7 Breuk of blokkade van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)

Doel van de ongevalsanalyse

Bij dit ongeval ontstaat er bij snelle reductie van de doorstroming van de reactorkern, een stijging van de hoofdkoelmiddeltemperatuur in de kern. Daarom moeten de volgende beschermingsdoelstellingen vervuld blijven:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijststof- en splijststofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. De temperatuur van de splijststofomhulling moet lager dan 600 °C zijn;
- de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder mogen niet aanspreken.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- afblaasstation voor de drukbeveiliging van de secundaire zijde en warmteafgifte naar de omgeving;
- noodvoedingswatersysteem (RL).

Begin- en Randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt verondersteld dat de as van de hoofdkoelmiddelpomp bij vollast breekt. Daardoor komt de pompwaaier in korte tijd tot stilstand terwijl de pompmotor doordraait.

Als gevolg hiervan spreken zowel het signaal "inwerpen van regelementen" op grond van het bereiken van de grenswaarde "toerental hoofdkoelmiddelpomp < min1" als het door het reactorbeveiligingssysteem gevormde RESA-signaal door "toerental hoofdkoelmiddelpomp < min2" niet aan.

De analyse is conservatief bij aanvang van de splijststofcyclus uitgevoerd.

Er wordt verondersteld, dat het eerste RESA-signaal wordt genegeerd.

Daarnaast wordt het uitvallen van de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling verondersteld, omdat deze het ongevalsverloop gunstig zou beïnvloeden.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Primaire zijde

Door de snelle uitloop van de pompwaaier gaat het debiet in de betreffende kringloop bijna sprongvormig omlaag. Er ontstaat als gevolg van de drukverhoudingen een tegengestelde stroming in de betreffende kringloop, waardoor de reactoruitredetemperatuur tot beneden de reactorintredetemperatuur daalt.

Als gevolg van de verminderde doorstroming van de reactorkern stijgen de hoofdkoelmiddeltemperatuur en -druk, alsmede het niveau in de drukhouder. De snelle temperatuurstijging van het hoofdkoelmiddel in de reactorkern leidt als gevolg van de terugkoppeling op de reactiviteit tot een snelle vermogensreductie tot circa 80 %.

Ongeveer 6 seconden na aanvang van het ongeval wordt de grenswaarde "koelmiddeldruk > 164 bar" bereikt, waarna gecontroleerd 2 regelstaven ingeworpen worden. Hierdoor neemt het reactorvermogen verder af tot ongeveer 60 %.

Na ongeveer 8 seconden wordt de RESA grenswaarde “kookmarge < 15 bar” bereikt. Er wordt echter geen RESA geïnitieerd vanwege de veronderstelling het eerste RESA signaal te negeren.

De hoofdstoomminimumdrukregeling spreekt na ongeveer 27 seconden aan. Deze regeling sluit de turbineregventielen, waardoor de druk in de hoofdstoomleiding toeneemt. Daarop volgend nemen de hoofdkoelmiddeltemperatuur, de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder ook toe.

Door te sproeien in de drukhouder worden de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder echter begrensd. Het reactorvermogen schommelt tot RESA rond de 50%.

Bij het verdere ongevalsverloop trekt de terugvoerregeling de ingeworpen regelementen weer omhoog. Hierdoor nemen het reactorvermogen en de hoofdkoelmiddeltemperatuur toe. Door de aannames betreffende uitval van de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling wordt de toename niet tegengegaan.

Na circa 464 seconden wordt de toestand “niveau stoomgenerator < 4 m” bereikt, waardoor een reactorsnelafschakeling (RESA) volgt. De hoofdkoelmiddeltemperatuur, de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder nemen hierdoor tijdelijk af.

De drukhouderverwarming en het hogedruk reduceerstation van het volumeregelsysteem (TA) sluiten op een minimum hoeveelheid en een tweede TA pomp komt bij, waardoor de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder weer toeneemt.

Secundaire zijde

Aan de secundaire zijde wordt het generatorvermogen door de turbineregeling snel aangepast aan het dalende reactorvermogen. Dit leidt tot het zo nu en dan openen van de turbine-omloop.

Als gevolg van de verminderde doorstroming in de primaire zijde van de stoomgenerator van de getroffen kringloop, daalt diens vermogen snel. De doorstroming in de primaire zijde van de stoomgenerator in de niet getroffen kringloop neemt daarentegen toe. Het vermogen van deze stoomgenerator neemt eveneens toe en het waterniveau in deze stoomgenerator neemt langzaam af.

Vanwege het dalende waterniveau in de stoomgenerator van de niet getroffen kringloop wordt na circa 464 seconden de toestand “niveau stoomgenerator < 4 m” bereikt, waardoor een reactorsnelafschakeling (RESA) volgt. Hierop volgt het automatisch uit bedrijf nemen van het hoofdvoedingswatersysteem en het automatisch in bedrijf nemen van het noodvoedingswatersysteem. Het niveau in de stoomgeneratoren wordt vervolgens door de noodvoedingswaterregeling op de nullast waarde geregeld.

De TUSA die volgt op de reactorsnelafschakeling leidt tot het sluiten van de snelsluitkleppen, waardoor de druk in de hoofdstoomleiding snel toeneemt. De druk neemt zover toe dat ongeveer 8 seconden na TUSA de afblaaskleppen kortstondig openen.

Resultaat

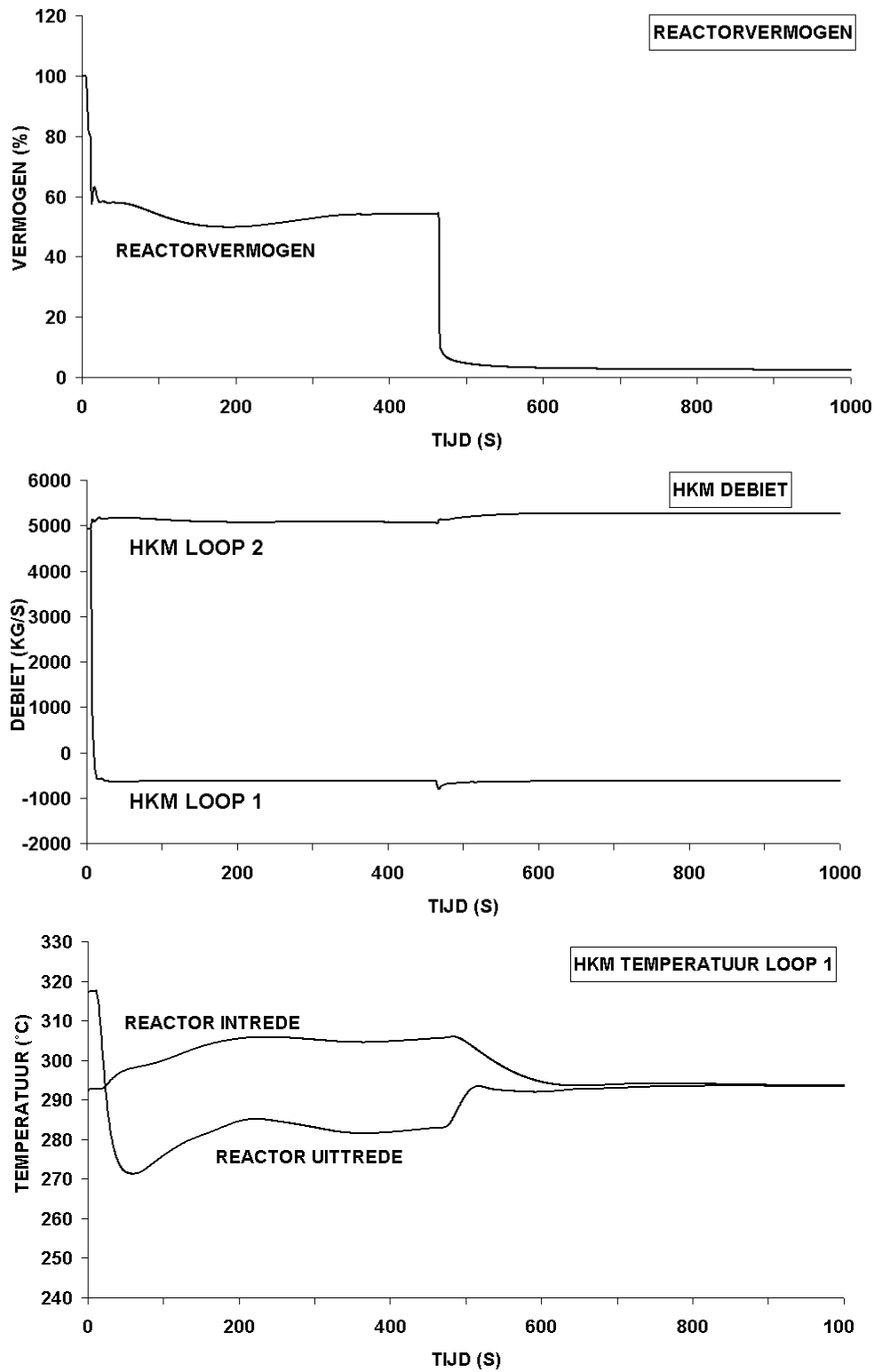
De analyse toont aan dat het ongeval bij conservatieve aannames beheerst wordt.

De hoofdkoelmiddel- en de hoofdstoomdruk blijven beneden de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk). Ook de beveiligingstoestellen van de drukhouder worden niet geopend.

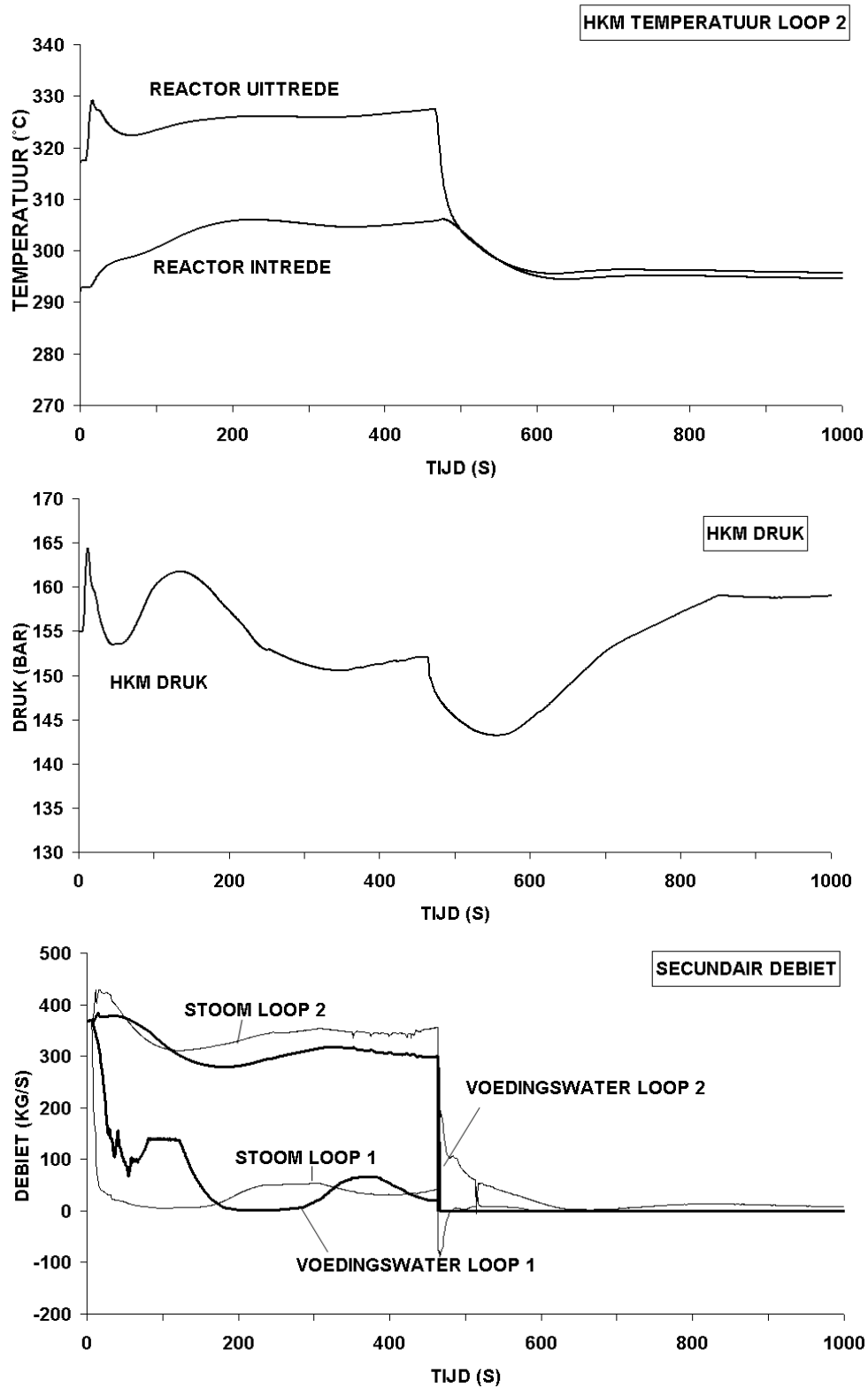
De kookmarge komt in het verloop van het ongeval onder de RESA grenswaarde van 15 bar. Om te bewijzen dat de beschermingsdoelstellingen gedurende het ongeval gerealiseerd zijn, is daarom een

afzonderlijke heetkanaalanalyse uitgevoerd. Uit de heetkanaalanalyse volgt dat de minimum waarde van de DNB 1,31 is. Deze minimum waarde is groter dan de minimaal toelaatbare waarde van 1,3. Daarmee is aangetoond dat filmkoken en daarmee een noemenswaardige verhoging van de splijststofomhullingtemperatuur niet optreden.

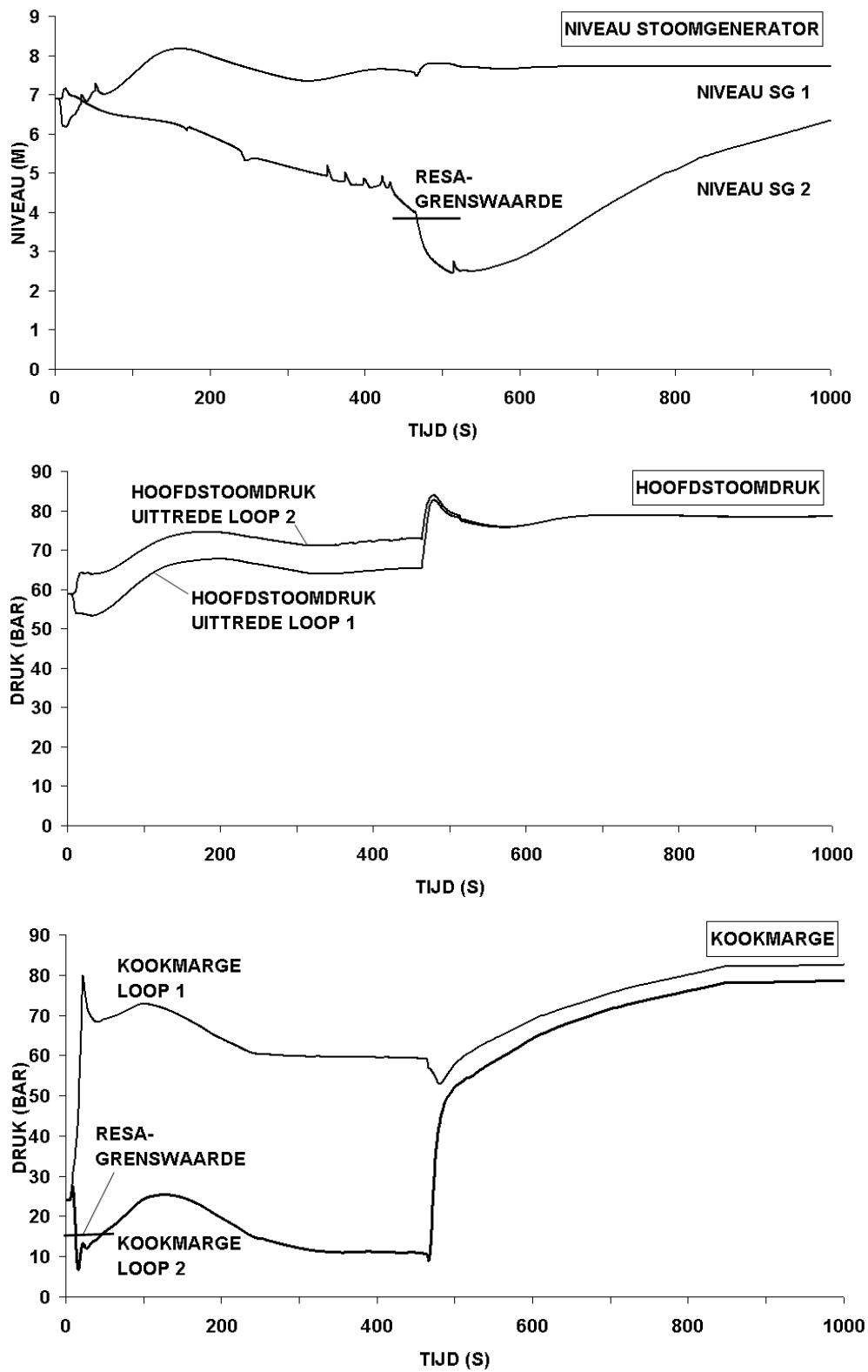
Kortom alle voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



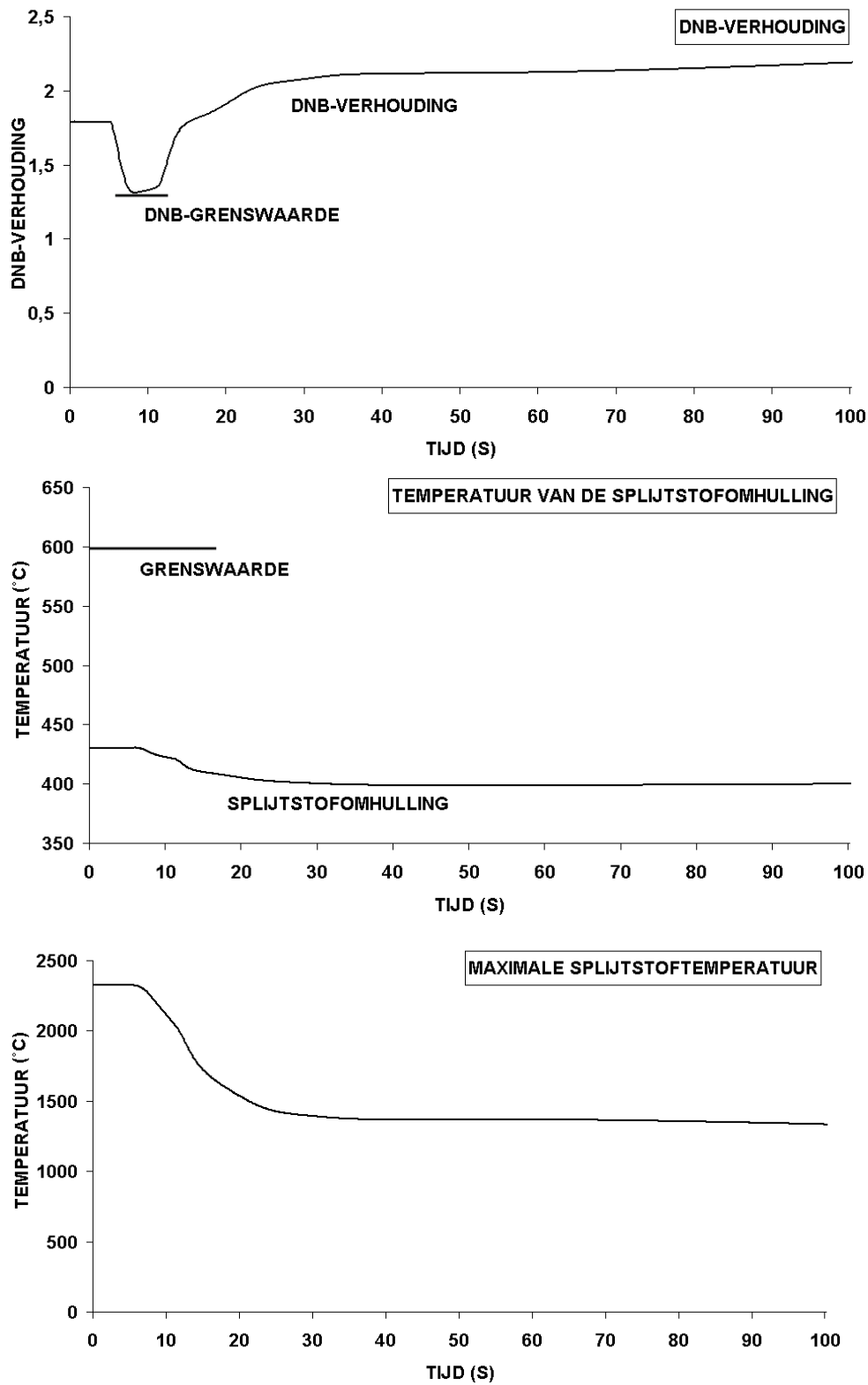
Figuur 7.4.4.7/1 Breuk of blokkade van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)



Figuur 7.4.4.7/2 Breuk of blokkade van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)



Figuur 7.4.4.7/3 Breuk of blokkade van een hoofdcoolmiddelpompas (PIE 3.2)



Figuur 7.4.4.7/4 Breuk of blokkade van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)

7.4.4.8 Onbedoeld uittrekken van regelstaven (PIE 5.1)

Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse, waarbij het onbedoeld uittrekken van regelstaven tot een toename van het reactorvermogen leidt, moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijststof- en splijststofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. De temperatuur van de splijststofomhulling moet lager dan 600 °C zijn;
- de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder mogen niet aanspreken.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ).

Begin- en randvoorwaarden

Het ongecontroleerd uittrekken van regelstaven wordt gepostuleerd. Dit zou het gevolg kunnen zijn van het falen van de instelwaarde van de koelmiddeltemperatuurregeling. Als deze instelwaarde (te) hoog wordt, dan worden de regelstaven uitgetrokken om de koeltemperatuur te kunnen verhogen.

De beginposities van de regelstaven is zodanig gekozen dat deze als gevolg van de veronderstelde begingebuurtenis vrij kunnen bewegen en niet door een begrenzingssysteem in hun beweging worden beperkt.

Vanwege de stijgende koelmiddeltemperatuur is het beschouwen van de kerntoestand bij het begin van de cyclus ongunstiger voor het verloop van het ongeval dan bij het cycluseinde. De transiënt wordt daarom beschouwd bij het begin van de cyclus bij vollast (reactorvermogen 100%).

De reactiviteitstoename door het uittrekken van de regelstaven is afhankelijk van de initiële insteekdiepte en de karakteristieken/effectiviteit van de verschillende regelstaven. Om die reden zijn zowel zwakke als sterke reactiviteitseffecten geanalyseerd (in figuur 7.4.4.8/1 en figuur 7.4.4.8/2 zijn de resultaten voor de zwakke reactiviteitseffecten opgenomen).

Aangenomen wordt dat de begrenzingsfuncties L-RELEB en DNB-RELEB niet functioneren. Bovendien wordt het eerste RESA-signaal genegeerd.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het uittrekken van de regelstaven wordt reactiviteit toegevoegd, hetgeen leidt tot een verhoging van het reactorvermogen. Deze verhoging van het reactorvermogen leidt tot een toename van de koelmiddeltemperatuur, drukhouderniveau en koelmiddeldruk. Hierdoor neemt ook de stoomdruk in de stoomgeneratoren toe.

Bij 105 % reactorvermogen zou L-RELEB aanspreken, maar deze begrenzingsfunctie wordt verondersteld niet te functioneren. Daardoor stijgt het reactorvermogen verder totdat het RESA-signaal "reactorvermogen > glijdende grenswaarde" aanspreekt. Ook dit signaal wordt om reden van conservatisme genegeerd. Hierna volgt RESA na het bereiken van de eerstvolgende RESA-grenswaarde "reactorvermogen > max".

Door de RESA worden alle regelstaven ingeworpen waardoor de begingebourtenis, het onbedoeld uittrekken van de regelstaven, wordt beëindigd.

Bij het begin van het ongeval stijgt de hoofdkoelmiddeldruk. Deze stijging wordt gereduceerd door het sproeien in drukhouder waardoor het aanspreken van de drukbeveiligingstoestellen wordt voorkomen. Zowel de hoofdkoelmiddeldruk als de hoofdstoomdruk komen niet boven de maximaal toelaatbare waarde (1,1 x ontwerpdruk).

Omdat de kookmarge in het verloop van de transiënt de grenswaarde van 15 bar onderschrijdt is, om het realiseren van de beschermingsdoelstellingen te bewijzen, een aparte heetkanaalanalyse uitgevoerd. Daarbij vormen de resultaten van de thermohydraulische analyse de invoergegevens. Uit de heetkanaalanalyse blijkt, dat de minimale DNB-verhouding van 1,3 niet wordt onderschreden, zodat filmkoken niet optreedt.

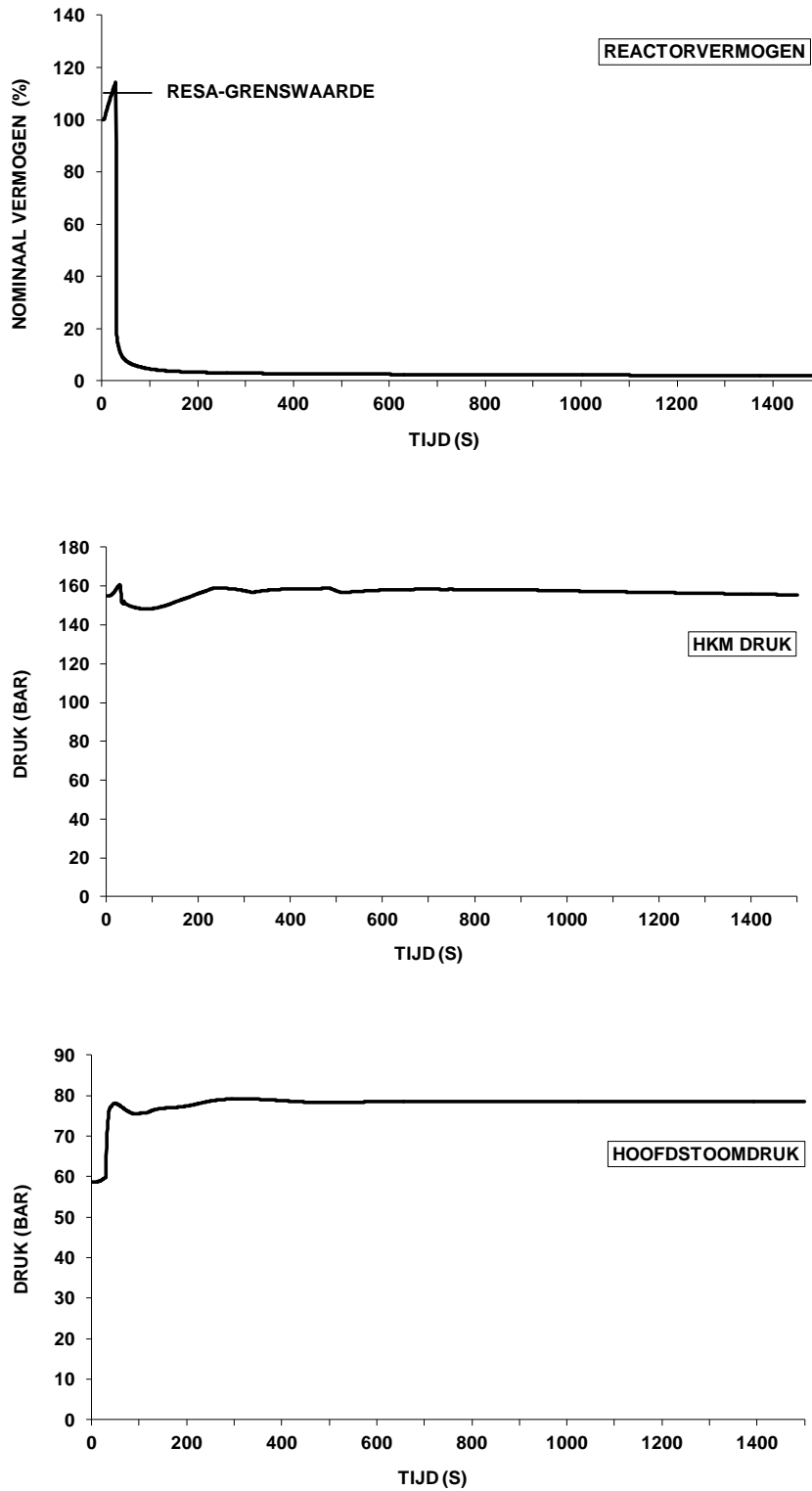
Resultaat

Het ongecontroleerd uittrekken van regelstaven leidt, afhankelijk van de uitgangspositie en de karakteristieken/effectiviteit van de regelstaven, tot een langzame of een snelle vermogensstijging. De vermogensstijging wordt uiteindelijk teniet gedaan door de RESA die volgt na het overschrijden van de tweede RESA-grenswaarde.

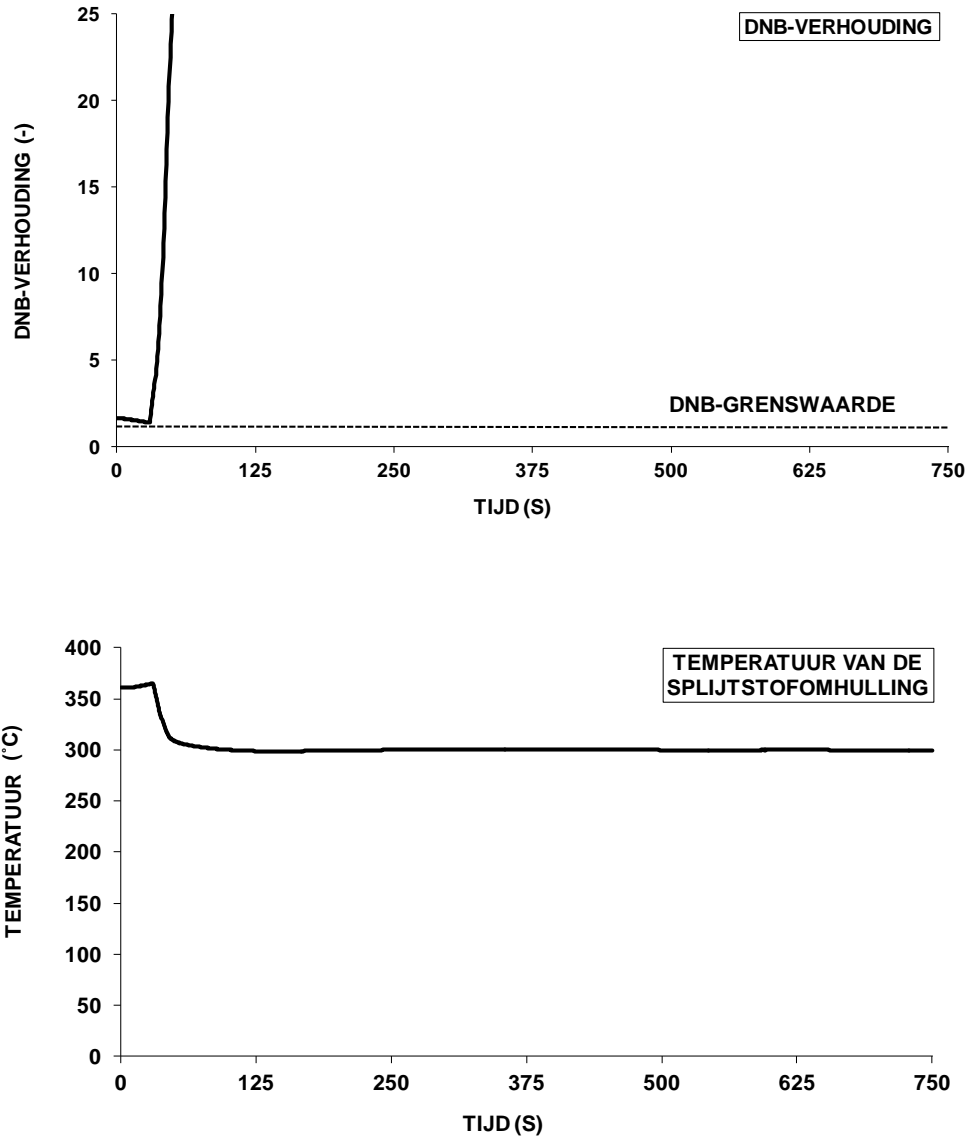
Verder volgt uit de resultaten het volgende:

- de DNB blijft boven de 1,3; er treedt geen filmkoken aan het oppervlak van de splijtstofomhulling op;
- de temperatuur van de splijtstofomhulling blijft onder 600 °C;
- de hoofdstoomdruk blijft onder 1,1 x ontwerpdruk;
- de hoofdkoelmiddeldruk blijft onder 1,1 x ontwerpdruk;
- de beveiligingstoestellen van de drukhouder worden niet geopend.

Daarmee worden alle voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.8/1 Onbedoeld uittrekken van regelstaven (PIE 5.1)



Figuur 7.4.4.8/2 Onbedoeld uittrekken van regelstaven (PIE 5.1)

7.4.4.9 Uitworp van de meest effectieve regelstaaf (PIE 5.2)

Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse, waarbij uitworp van de meest effectieve regelstaaf tot een toename van het reactorvermogen leidt, moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijststof- en splijststofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. De temperatuur van de splijststofomhulling moet lager dan 600 °C zijn;
- de maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet moet voldoende laag zijn om schade aan de splijststof en splijststofomhulling te voorkomen;
- de enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet moet beneden de toelaatbare waarde (966 J/g) blijven;
- de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder mogen niet aanspreken.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ).

Begin- en randvoorwaarden

Het uitwerpen van het meest effectieve regelement wordt gepostuleerd. Als oorzaak wordt verondersteld, dat door de breuk van een regelementaandrijving, het regelement door de hoofdkoelmiddeldruk uitgeworpen wordt. De reactiviteitstoename is afhankelijk van de insteekdiepte van de bank, waartoe het regelement behoort.

Als startpunt van het ongeval wordt als ongunstige bedrijfstoestand het begin van de cyclus (BOC) bij vollast (reactorvermogen 103%) en het einde van de cyclus (EOCnat) bij nullast (reactorvermogen 4%) gekozen.

Van één D-bank wordt bij volvermogen een conservatieve insteekdiepte van 85 cm aangenomen en bij nullast wordt aangenomen dat twee D-banken volledig zijn ingestoken. De uitworp van één regelement van deze D-bank(en) wordt verondersteld. De reactiviteitstoename als gevolg van de reactiviteit van de regelementen wordt daarbij ongunstig hoog aangenomen; de invloed van de terugkoppeling op de reactiviteit die de transiënt verzacht, bijvoorbeeld Doppler-activiteit (reactiviteitsinvloed van de splijststof), wordt laag aangenomen.

Bovendien wordt verondersteld, dat de regelementaandrijvingsstomp op constructieve gronden door het regelement afgesloten wordt zonder dat lekkage optreedt. Hierdoor kan geen drukontlasting van het primair systeem optreden, zodat ook dampbelvorming geen invloed heeft op de reactiviteit.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het uitwerpen van een regelement uit de D-bank wordt reactiviteit toegevoegd, hetgeen leidt tot een verhoging van het reactorvermogen. De reactiviteitscoëfficiënten werken dit tegen, waardoor de vermogensstijging wordt begrensd. Met het aanspreken van de glijdende vermogensgrenswaarde wordt om reden van conservatisme geen rekening gehouden. Hierdoor volgt een RESA na het bereiken van de eerstvolgende RESA-grenswaarde ("reactorvermogen > max").

Bij het begin van het ongeval stijgt de hoofdkoelmiddeldruk. Door de RESA wordt deze stijging beëindigd. Middels een plausibiliteitverklaring is aangetoond dat de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk niet boven de maximaal toelaatbare waarde (1,1 x ontwerpdruk) komen.

Resultaat

De reactiviteitstoename als gevolg van de uitworp van een regelement leidt, afhankelijk van het tijdstip in de cyclus en de opbrand, tot een langzame of een snelle vermogensstijging. Door de negatieve splijtstoftemperatuurcoëfficiënt wordt het reactorvermogen echter altijd beperkt. Na het overschrijden van de tweede RESA-grenswaarde volgt uiteindelijk een RESA.

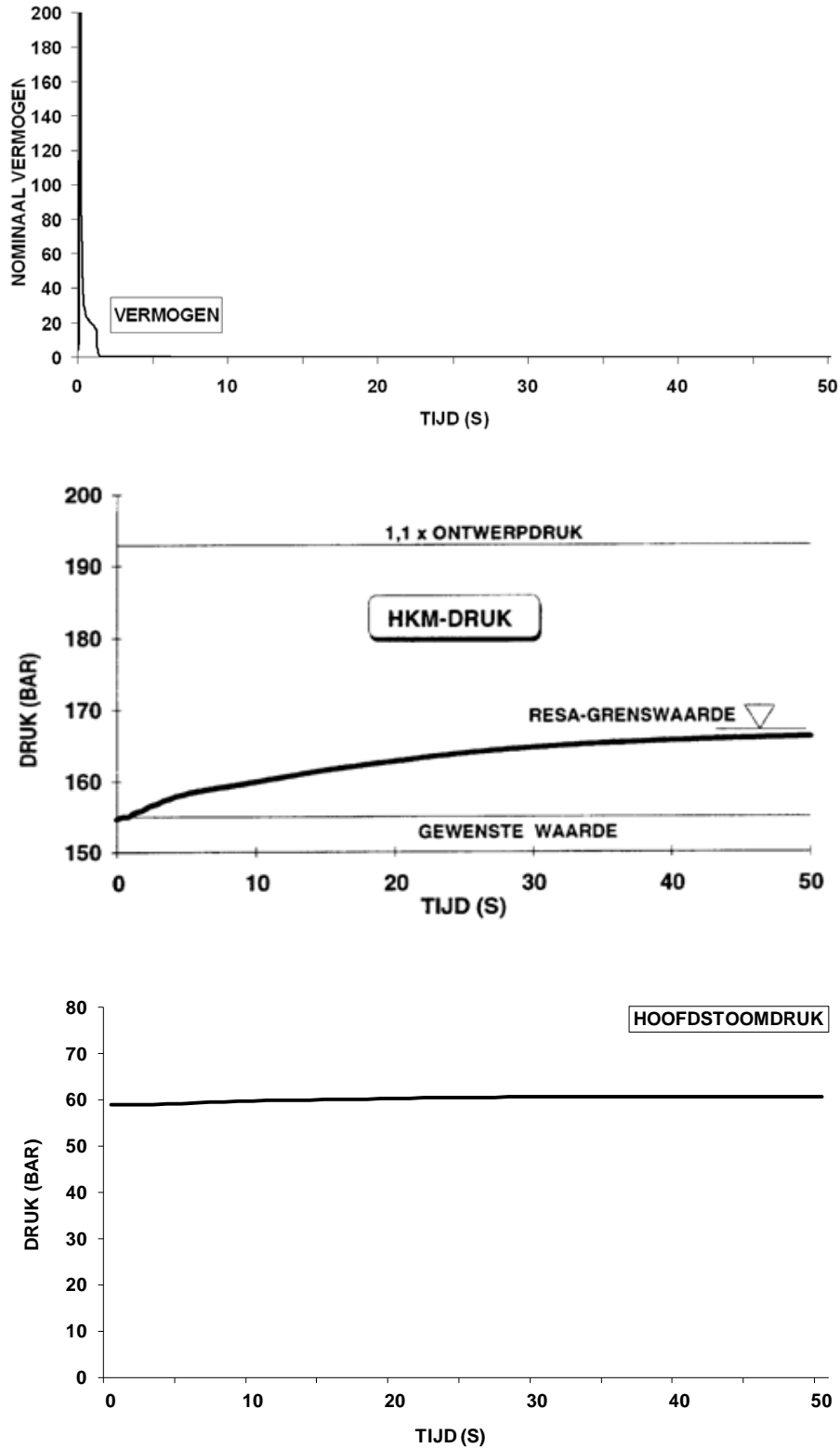
Omdat de maximale splijtstoftemperatuur onder de opbrandafhankelijke smeltemperatuur blijft is gewaarborgd dat de maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijtstoftablet, onder de grenswaarde van 966 J/gram blijft.

Over de cyclus heen is voor verschillende opbranden aangetoond dat de maximale enthalpieverhoging ruim beneden de grenswaardecurve (met conservatief veronderstelde reeds aanwezige oxidelaag) ligt. Daarmee wordt aan de beschermingsdoelstelling voor de maximale enthalpieverhoging voldaan.

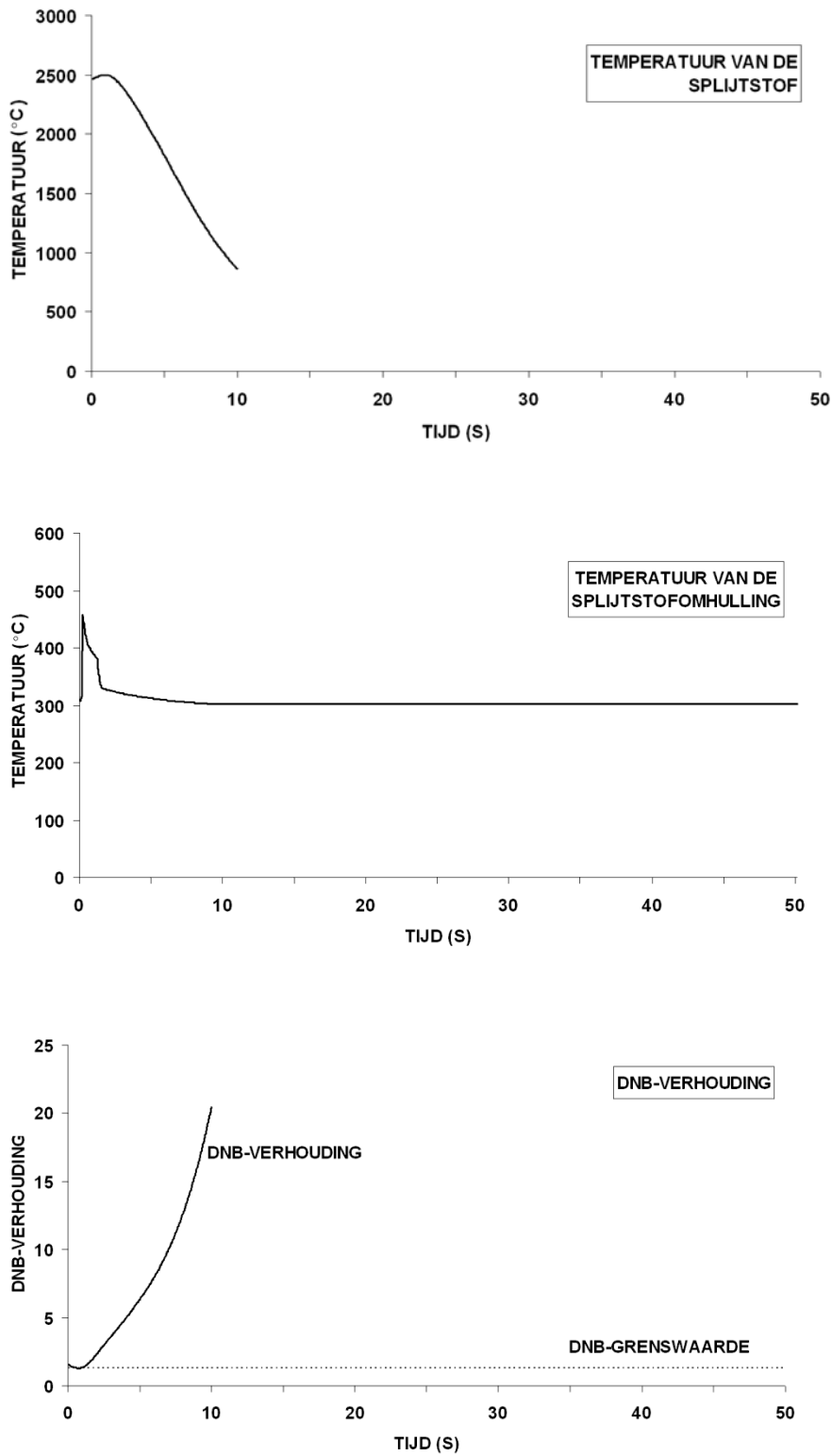
Verder volgt uit de resultaten van de meest ongunstige bedrijfstoestanden het volgende:

- de DNB blijft boven de 1,3; er treedt geen filmkoken aan het oppervlak van de splijtstofomhulling op;
- de temperatuur van de splijtstofomhulling blijft onder 600 °C;
- de hoofdstoomdruk blijft onder 1,1 x ontwerpdruk;
- de hoofdkoelmiddeldruk blijft onder 1,1 x ontwerpdruk.

Kortom alle voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.9/1 Uitworp van het meest effectieve regelement (PIE 5.2)



Figuur 7.4.4.9/2 Uitworp van het meest effectieve regelement (PIE 5.2)

7.4.4.10 Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)

Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijtstof- en splijtstofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt bereikt als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarde komen.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ).

Begin- en randvoorwaarden

Verondersteld wordt, dat het eerste drukbeveiligingstoestel onbedoeld open gaat en, ondanks het bereiken van de sluitgrenswaarde die 10 bar onder de aanspreekwaarde ligt, niet weer sluit. Pas als het in serie met de veiligheidsklep geschakelde tandemventiel sluit bij een tot 136 bar gedaalde systeemdruk, eindigt het verlies van hoofdkoelmiddel uit het primair systeem.

De transiënt wordt beschouwd bij een kerntoestand aan het begin van de cyclus; vanwege de tot RESA bijna constante hoofdkoelmiddeltemperatuur is dit echter nauwelijks van belang als randvoorwaarde.

Gezien het in deze toestand hoge niveau in de drukhouder wordt nominaal vermogen als de begintoestand aangenomen.

Aangenomen wordt, dat het eerste RESA-signaal wordt genegeerd.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het openen van het eerste drukbeveiligingstoestel van de drukhouder daalt de hoofdkoelmiddeldruk en daarmee de kookmarge. Zodra de kookmarge de aanspreekwaarde van de vermogensbegrenzing (DNB-RELEB) onderschrijdt, worden door deze regeling automatisch tegenmaatregelen geïnitieerd (kortstondige verlaging van het reactor- en turbinevermogen met 10 % van het nominale vermogen). Deze tegenmaatregelen kunnen echter in dit geval het bereiken van RESA-grenswaarden niet verhinderen.

Ongeveer 20 s na het begin van het ongeval wordt de RESA-grenswaarde "kookmarge < min" onderschreden. Daar bij de analyse wordt aangenomen dat het eerste RESA-signaal genegeerd wordt, daalt de kookmarge verder. Na circa 25 s na het begin van het ongeval wordt de grenswaarde van de reactorbeveiliging "hoofdkoelmiddeldruk < min1" bereikt, waarna RESA volgt.

Hierdoor stijgt de kookmarge weer. De hoofdkoelmiddeldruk daalt door de RESA en het nog steeds openstaande drukbeveiligingstoestel nog verder.

Ruim 30 s na het begin van het ongeval is de hoofdkoelmiddeldruk tot circa 136 bar gedaald, en het met de veiligheidsklep in serie geschakelde tandemventiel wordt door de reactorbeveiliging gesloten.

In het verdere verloop wordt het primair systeem gevoed door het volumeregelsysteem (TA), totdat het niveau in de drukhouder de normale waarde heeft bereikt.

De afblaastank van de drukhouder kan de afgeblazen hoeveelheid hoofdkoelmiddel opnemen. De druk in de afblaastank stijgt tot het sluiten van het tandemventiel tot circa 3,9 bar en blijft daarmee onder de aanspreekdruk van de breekplaat.

Ongeveer 10 minuten na het begin van het ongeval bereikt de installatie een stationaire toestand.

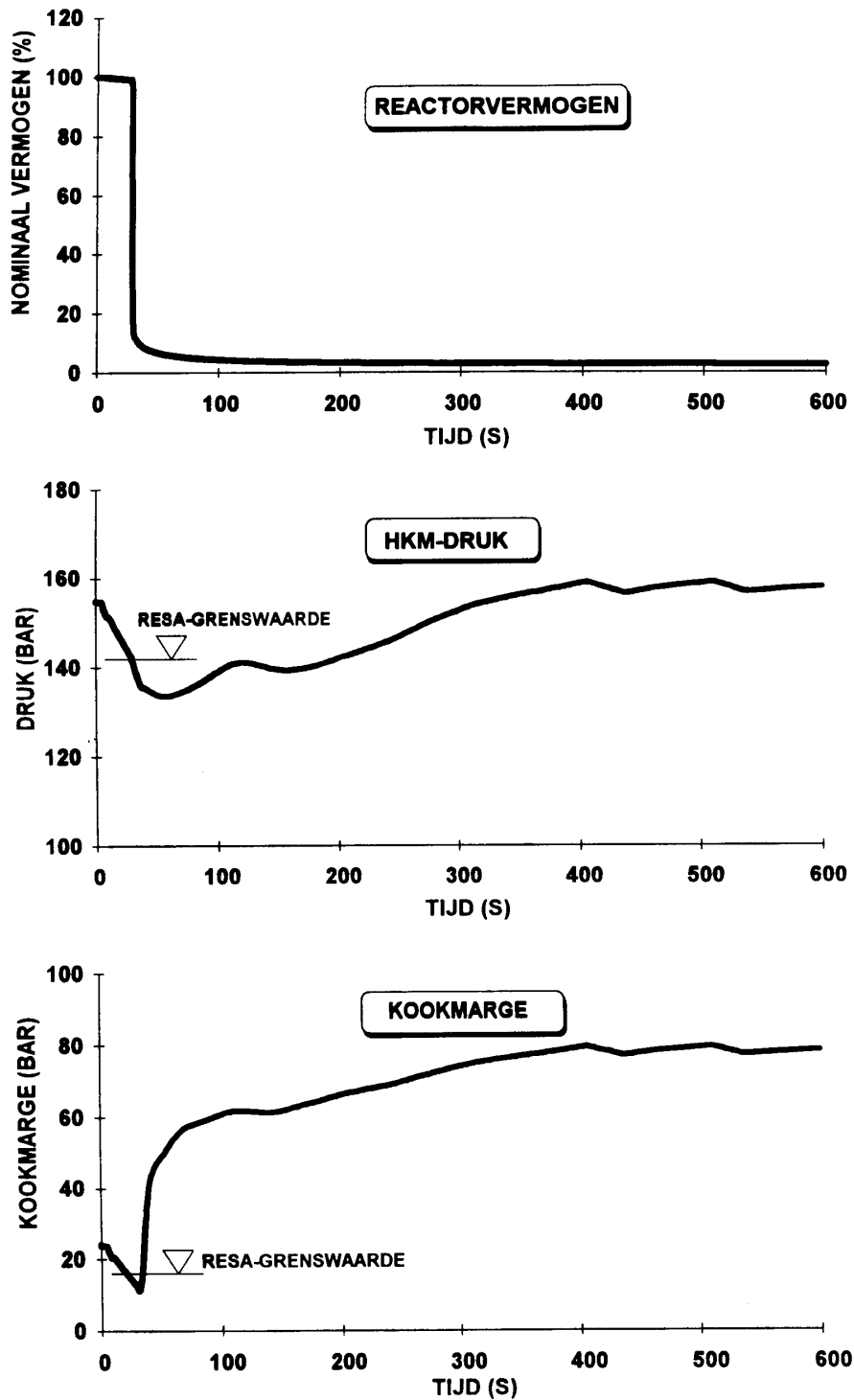
Omdat de kookmarge in het verloop van de transiënt de grenswaarde van 15 bar onderschrijdt, is om het realiseren van de beschermingsdoelstellingen te bewijzen, een aparte heetkanaalanalyse uitgevoerd; daarbij vormen de resultaten van de thermohydraulische analyse de invoergegevens. Uit de heetkanaalanalyse blijkt, dat de minimale DNB-verhouding bij dit ongeval na ongeveer 29 s bereikt wordt. De DNB-grenswaarde van 1,3 wordt echter niet onderschreden, zodat filmkoken niet optreedt.

Resultaat

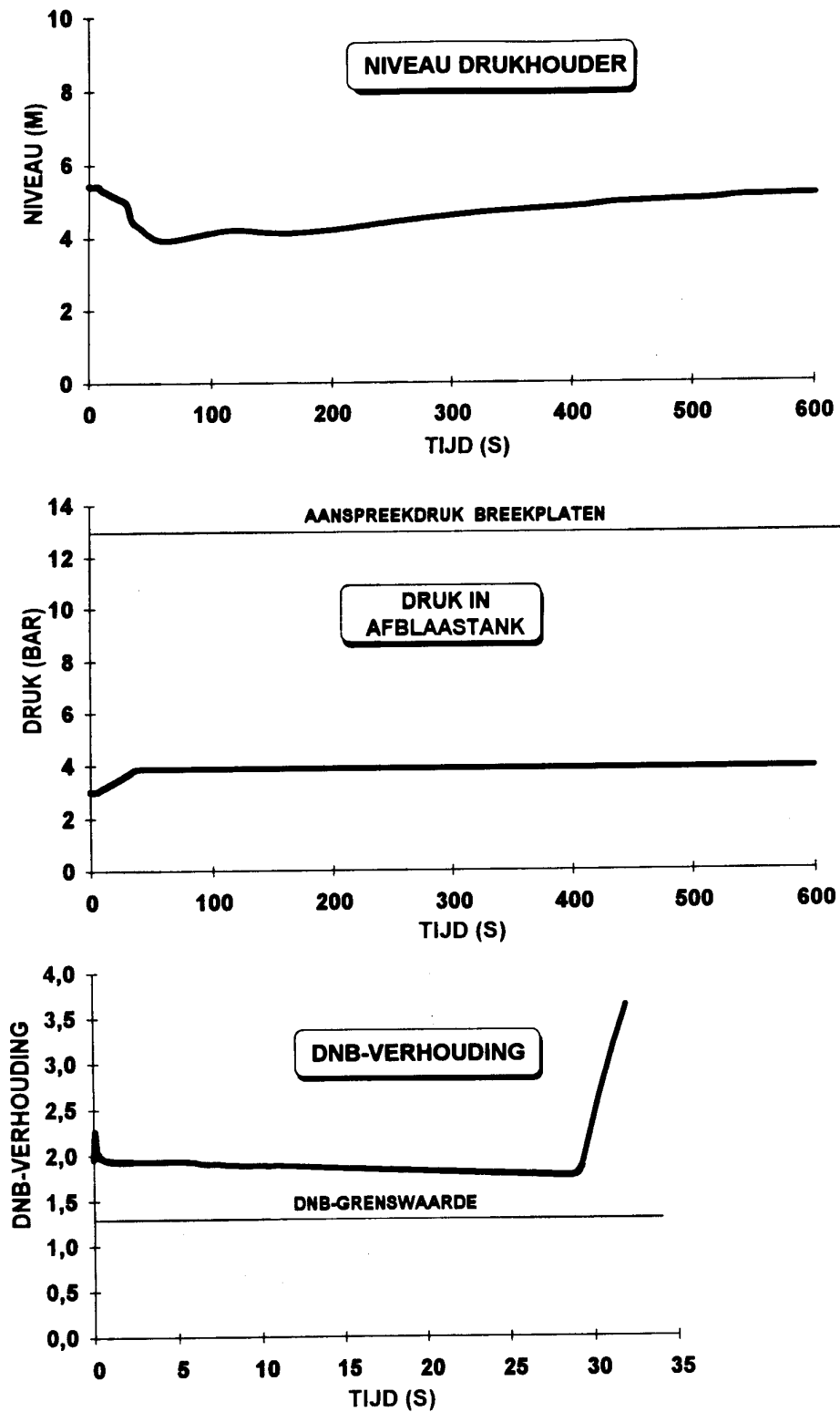
De analyse toont aan, dat het verlies van hoofdkoelmiddel door geschikte tegenmaatregelen wordt beëindigd, en dat uitbreiding naar een koelmiddelverliesongeval wordt verhinderd.

De minimaal toelaatbare DNB-verhouding wordt niet onderschreden, zodat filmkoken niet optreedt en schade aan de splijststofomhulling kan worden uitgesloten.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.10/1 Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)



Figuur 7.4.4.10/2 Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)

7.4.4.11 Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2)

Doel van de ongevalsanalyse

PIE 7.1.2 behoort tot de LOCA analyses waarvoor moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de temperatuur van de splijtstofomhulling mag niet hoger worden dan 1200°C;
- de plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling moet minder zijn dan 17 %;
- de waterstofproductie mag 1 % van de grootst mogelijke waarde niet overschrijden;
- de door temperatuurverhoging veroorzaakte geometrische veranderingen in de kern mogen de koeling daarvan niet nadelig beïnvloeden;
- de langdurige afvoer van vervalwarmte moet gegarandeerd zijn.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- hoofd- en noodvoedingswatersysteem (RL);
- hoofdstoom-afblaasstation;
- noodstroomverzorgingsinstallatie.

Begin- en randvoorwaarden

Er wordt verondersteld, dat een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder onbedoeld open gaat en open blijft. Daarbij wordt voorbij gegaan aan het feit, dat het in serie met de veiligheidsklep geschakelde tandemventiel, bij een tot circa 135 bar gedaalde systeemdruk zelfstandig zou sluiten, en daarmee het verlies van hoofdkoelmiddel zou beëindigen.

Verder wordt de noodstroomsituatie verondersteld bij het initiëren van RESA/TUSA, waardoor de kerninundatiepompen vertraagd voeden als gevolg van het diesel-bijgeschakelprogramma. Secundairzijdig afregelen begint dus, op grond van het niet beschikbaar zijn van de turbineomloop, bij een hogere temperatuur.

Enkelvoudig falen wordt bij een noodstroomdiesel verondersteld, waardoor in elk van de beide strangen van de noodkoeling één van de beide kerninundatiepompen (HD) en nakoelpompen (LD), als ook aan de secundaire zijde één noodvoedingswaterpomp niet beschikbaar is.

Algemene beschrijving van het verloop van de storing

Door het verlies van hoofdkoelmiddel via een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder daalt de druk in het primair systeem. Het hoofdkoelmiddelverlies kan door het volumeregelsysteem (TA) niet gecompenseerd worden.

Vanwege de specifieke plaats van de lekkage stijgt het niveau in de drukhouder, zodat de grenswaarde "drukhouderniveau < min" niet wordt bereikt. Verder wordt de grenswaarde "druk in installatie/bedrijfsruimte > max2" vertraagd bereikt, omdat pas na het breken van de breekplaat van de afblaastank van de drukhouder, hoofdkoelmiddel in de veiligheidsomhulling vrijkomt.

Voor het initiëren van RESA heeft dit geen noemenswaardige gevolgen, omdat er diverse andere aanspreekcriteria aan de orde zijn. RESA volgt door het signaal "hoofdkoelmiddeldruk < min1" of "kookmarge < min".

Zowel het initiëren van afregelen met 100 K/h als het bereiken van de noodkoelcriteria vinden plaats op grond van het bereiken van de grenswaarde "druk in installatie/bedrijfsruimte > max2" en "hoofdkoelmiddeldruk < min2".

Door de geringe lekgrootte blijft de genoemde vertraging echter zonder veiligheidstechnische gevolgen.

Na het initiëren van het afregelen met 100 K/h wordt de installatie automatisch over de condensor afgeregeld, of, zoals hier verondersteld, in de noodstroomsituatie via de hoofdstoomafblaasregelventielen, totdat het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) deze taak overneemt.

Na het bereiken van de noodkoelcriteria worden de kerninundatiepompen gestart teneinde geboreerd water te suppleren uit de kerninundatievoorraadtanks (TJ).

Het niveau van het hoofdkoelmiddel in de kern is in de figuur aangegeven als een fictief niveau. Dit fictieve niveau geeft het niveau aan waarbij verondersteld is dat al het hoofdkoelmiddel zich in de vloeibare fase bevindt. In werkelijkheid zal het niveau van een mengsel van vloeistof en damp zich hoger bevinden. Uit de grafiek van het fictieve niveau in de kern is af te lezen, dat bij dit ongeval de kern te allen tijde met water of met een water/stoom-mengsel voldoende bedekt is.

Mede door het afregelen over de secundaire zijde wordt gegarandeerd, dat voordat de kerninundatievoorraadtanks leeg zijn de verdere suppletie van geboreerd water kan plaatsvinden met behulp van de nakoelpompen.

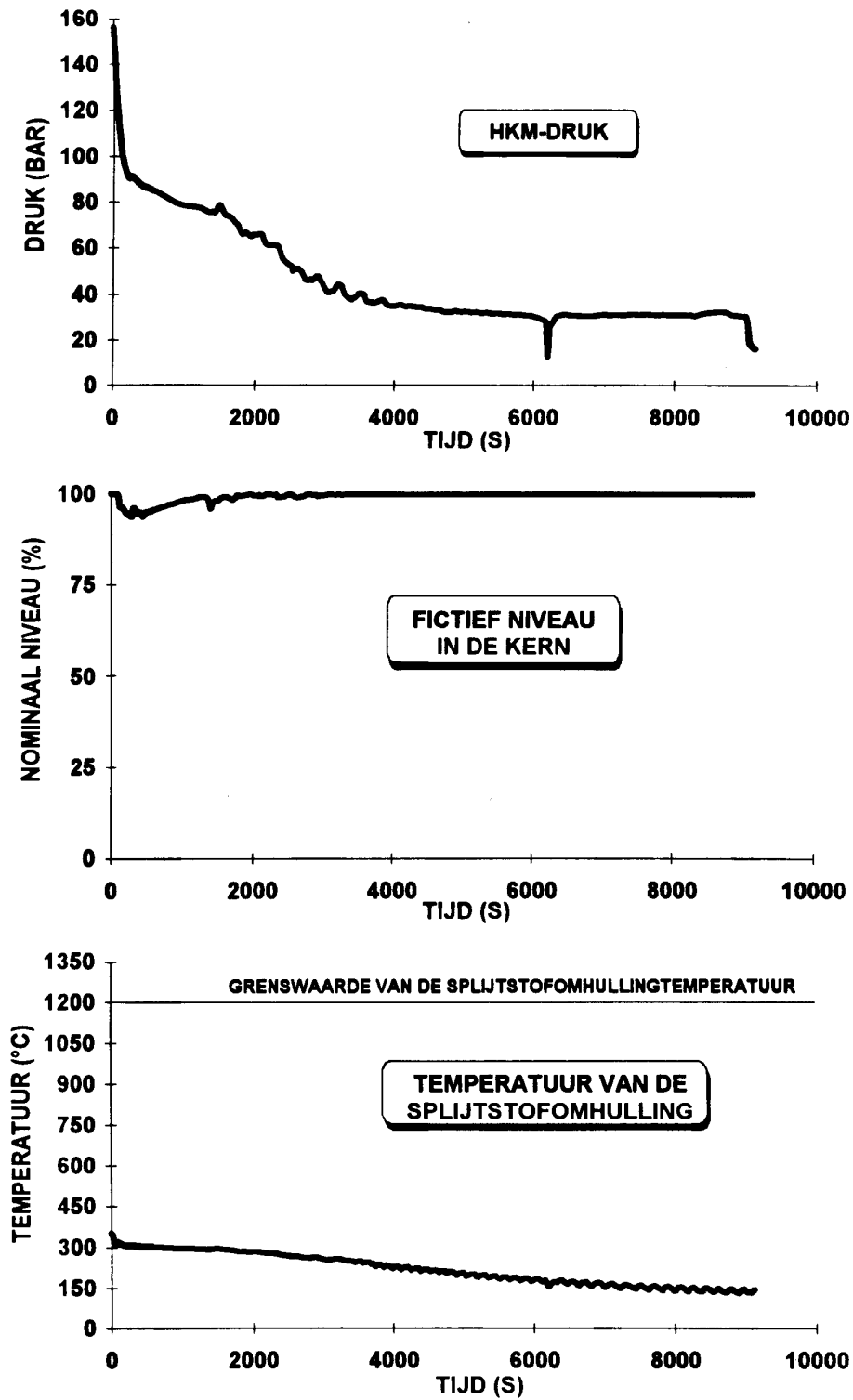
Resultaat

De analyse toont aan, dat bij dit ongeval de temperatuur van de splijtstofomhulling beneden de normale waarde bij vollast blijft. Dit betekent, dat er op ieder moment een grote marge ten opzichte van de grenswaarde van 1200 °C aanwezig is. De kern blijft zodanig gekoeld dat daarmee bewezen is dat:

- plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling voldoende beperkt blijft;
- de waterstofproductie factoren beneden de grenswaarde blijft;
- negatieve beïnvloeding van de koeling van de kern als gevolg van geometrische veranderingen uitgesloten kan worden.

De analyse heeft verder aangetoond, dat op het moment van afschakeling van de kerninundatiepompen de hoofdkoelmiddeltemperatuur, en daarmee de corresponderende verzadigingsdruk, onder de opvoerhoogte bij nullast van de nakoelpompen ligt, zodat het verdere suppleren van geboreerd water met behulp van het LD-systeem (TJ) mogelijk is.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.11/1 Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2)

7.4.4.12 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2)

Doel van de ongevalsanalyse

PIE 7.2.2 behoort tot de LOCA analyses waarvoor moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de temperatuur van de splijtstofomhulling mag niet hoger worden dan 1200°C;
- de plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling moet minder zijn dan 17 %;
- de waterstofproductie mag 1 % van de grootst mogelijke waarde niet overschrijden;
- de door temperatuurverhoging veroorzaakte geometrische veranderingen in de kern mogen de koeling daarvan niet nadelig beïnvloeden;
- de langdurige afvoer van vervalwarmte moet gegarandeerd zijn.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- nakoelketen (TF, VF);
- noodvoedingswatersysteem (RL);
- hoofdstoomafblaasstation;
- noodstroomverzorgingsinstallatie.

Begin- en randvoorwaarden

Omdat lekkages in het koude been grotere massaverliezen en grotere opwarming van de reactorkern opleveren dan lekkages uit het hete been, worden hier lekkages tussen hoofdkoelmiddelpomp en reactorvat (koude been) met een representatief lekgrootte-spectrum geanalyseerd. Als gevolg van het principe van "lek voor breuk" (zie paragraaf 5.1) hoeft alleen rekening gehouden te worden met de breuk van een aansluitleiding van het primair systeem. Daarom worden lekgroottes onderzocht van 20, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 225 cm².

Uitgangstoestand voor deze analyses is een bedrijfssituatie met verhoogd vermogen (106 %). Verder wordt in de berekening uitgegaan van een verhoogd vervalwarmtevermogen (veiligheidstoeslag van 2 sigma).

Aangenomen wordt het enkelvoudig falen van een TJ-buffertank aan de hete been zijde. Het primair reserve suppletiesysteem (TW) wordt verondersteld niet in werking te treden.

Verder wordt de noodstroomsituatie verondersteld bij het initiëren van RESA/TUSA, waardoor de kerninundatiepompen vertraagd starten met voeden als gevolg van het diesel-bijschakelprogramma. Secundairzijdig afregelen begint dus, op grond van het niet beschikbaar zijn van de turbine-omloop, bij een hogere temperatuur.

Het eerste bereikte RESA-signaal wordt genegeerd.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Bij een lekkage in het primair systeem daalt het niveau in de drukhouder en de hoofdkoelmiddeldruk. Dit hoofdkoelmiddelverlies kan niet door het volumeregelsysteem (TA) worden gecompenseerd. Als de grenswaarde "druk in het reactorsysteem < min1" wordt bereikt, dan zou dit leiden tot RESA, maar dit eerste bereikte signaal wordt genegeerd.

Door de verdere daling van de hoofdkoelmiddeldruk wordt de installatie automatisch afgeregeld met een gradiënt van 100 K/h. Aanvankelijk gebeurt dit over de condensor; in de noodstroomsituatie via de hoofdstoomafblaasventielen.

Bij het bereiken van de grenswaarden "drukhouderniveau < min" en "druk in het reactorkoelsysteem < min²" (noodkoelcriteria) volgt RESA en TUSA. Als gevolg van de veronderstelde noodstroomsituatie worden de noodstroomdiesels gestart en kunnen de kerninundatiepompen vertraagd voeden als gevolg van het dieselbijschakelprogramma. Secundairzijdig worden de noodvoedingswaterpompen gestart.

In de eerste fase van het ongeval stroomt het hoofdkoelmiddel aanvankelijk onderkoeld en later als tweefasen-mengsel uit het primair systeem in de veiligheidsomhulling. Hierdoor daalt het fictief niveau in het primair systeem en in het reactorvat. Het fictieve niveau geeft het niveau aan waarbij verondersteld is dat al het hoofdkoelmiddel zich in de vloeibare fase bevindt. In werkelijkheid zal het niveau van een mengsel van vloeistof en damp zich hoger bevinden, waardoor dit een conservatieve benadering is voor de bedekking van de splijstofelementen met hoofdkoelmiddel.

Door de daling van het (fictieve) niveau in het reactorvat raakt de kern onbedekt en vindt een (eerste) stijging van de temperatuur van de splijstofomhulling plaats. Als gevolg van de heersende toestand in het primair systeem wordt het hoofdkoelmiddel in de intermediate benen (tussen stoomgenerator en hoofdkoelmiddelpomp) richting reactorvat gestuurd (*loop seal clearance*), waardoor de reactor kern wordt bedekt. Hierdoor neemt de temperatuur van de splijstofomhulling weer af.

Bij een lekdebiet dat groter is dan het injectiedebiet van het kerninundatiesysteem zal het (fictieve) niveau in het reactorvat opnieuw dalen en raakt de reactor kern weer onbedekt. Hierop volgt de tweede stijging van de temperatuur van de splijstofomhulling. De stijging wordt gestopt door de weer optredende *loop seal clearance*. Dit fenomeen kan zich herhalen totdat de hoofdmiddeldruk voldoende laag is om vanuit de TJ-buffertanks te kunnen injecteren. De reactor kern wordt dan bedekt en door de suppletie van de nakoelpompen uit de kerninundatietanks blijft de kern bedekt.

Op lange termijn is de kernkoeling gegarandeerd door het massa- en daarmee verbonden energieverlies via het lek en de vanuit het kerninundatiesysteem geïnjecteerde hoeveelheid water. Deze zijn voldoende om de vervalwarmte, alsmede de in het primair systeem opgeslagen energie, te kunnen afvoeren.

Afhankelijk van het niveau in de kerninundatievoorradetanks zuigen de nakoelpompen uit de tanks of uit de reactorput aan. Het putwater wordt vóór het opnieuw voeden gekoeld in de nakoelers. De vervalwarmte wordt via de nageschakelde koelketen aan het nevenkoelwater afgegeven.

Het bovenstaande ongevalsverloop geldt in principe voor alle in het spectrum van 20 – 225 cm² beschouwde lekgroottes. De lekgrootte beïnvloedt met name het tijdsverloop van de gebeurtenissen, de effectieve daling van het (fictieve) niveau in het reactorvat en de uiteindelijke stijging van de temperatuur van de splijstofomhulling. In tabel 7.4.4.12/1 is de maximale splijstofomhullingstemperatuur als functie van de lekgrootte weergegeven.

Tabel 7.4.4.12/1 Maximale temperatuur en plaatselijke oxidatie van de splijststofomhulling als functie van de lek grootte voor PIE 7.2.2

Lekgrootte (cm ²)	Maximale splijststof- omhullingstemperatuur (°C)	Maximale plaatselijke oxidatie ¹⁾ (%)
20	637	1,20
40	903	1,56
50	818	1,20
60	782	1,20
70	974	2,29
75	1038	2,66
80	979	1,94
100	820	1,20
120	601	1,20
140	592	1,20
160	635	1,20
180	651	1,20
200	698	1,20
225	763	1,20

¹⁾Inclusief pre-oxidatie

Zoals uit tabel 7.4.4.12/1 blijkt is een “grotere” lekgrootte (boven 75 cm²) gunstiger voor wat betreft de maximale splijststofomhullingstemperatuur. Dit is verklaard door de snellere drukdaling in het primair systeem waardoor de TJ-buffertanks en de nakoelpompen eerder kunnen injecteren.

Resultaat

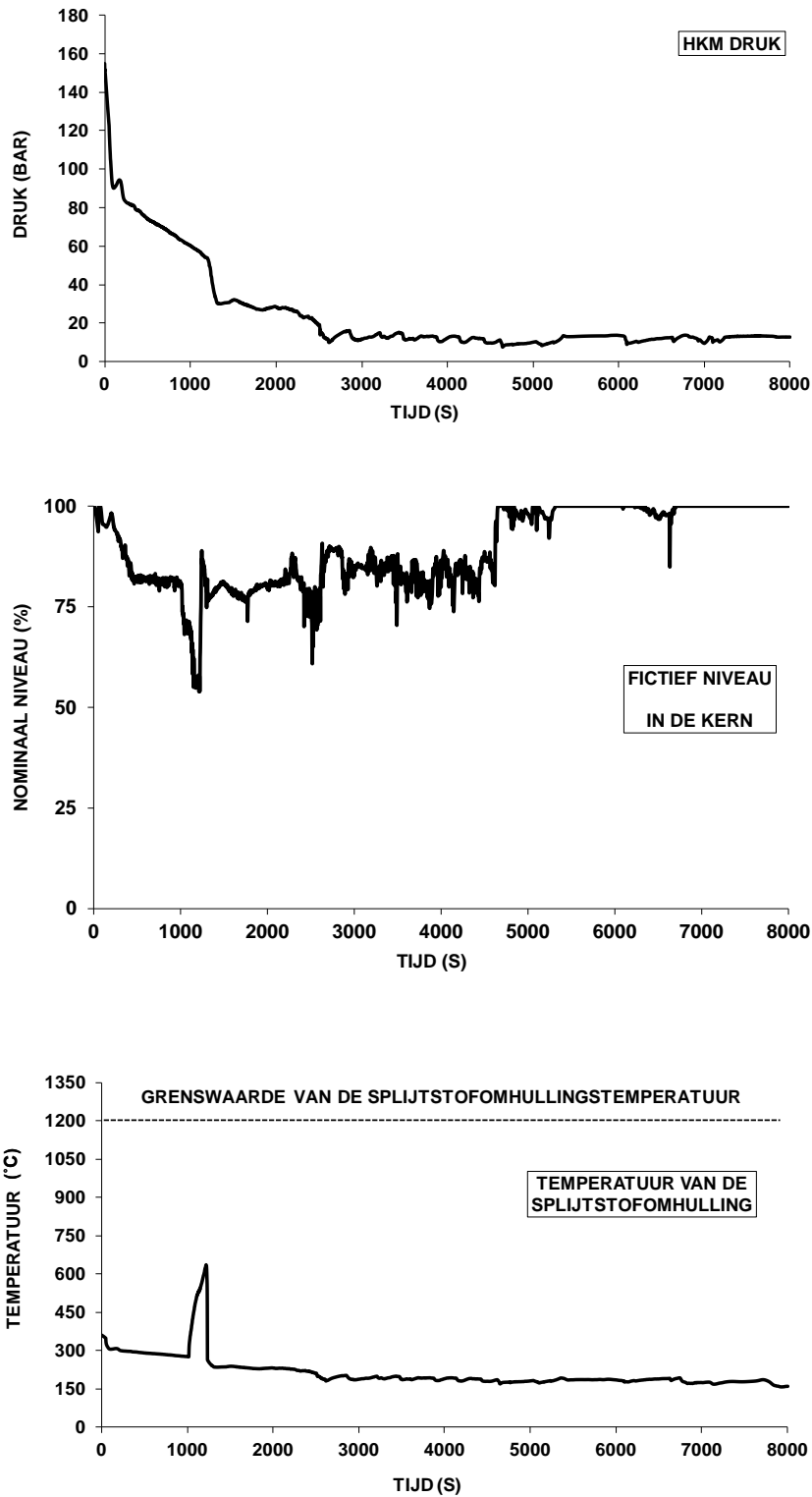
De analyses tonen aan, dat in alle onderzochte gevallen, de temperatuur van de splijststofomhulling onder de grenswaarde van 1200 °C blijft. De kern blijft zodanig gekoeld waarbij bewezen is dat:

- de plaatselijke oxidaties van de splijststofomhulling voldoende beperkt blijven;
- de waterstofproductie onder de grenswaarde blijft;
- negatieve beïnvloeding van de koeling van de kern als gevolg van geometrische veranderingen uitgesloten kan worden.

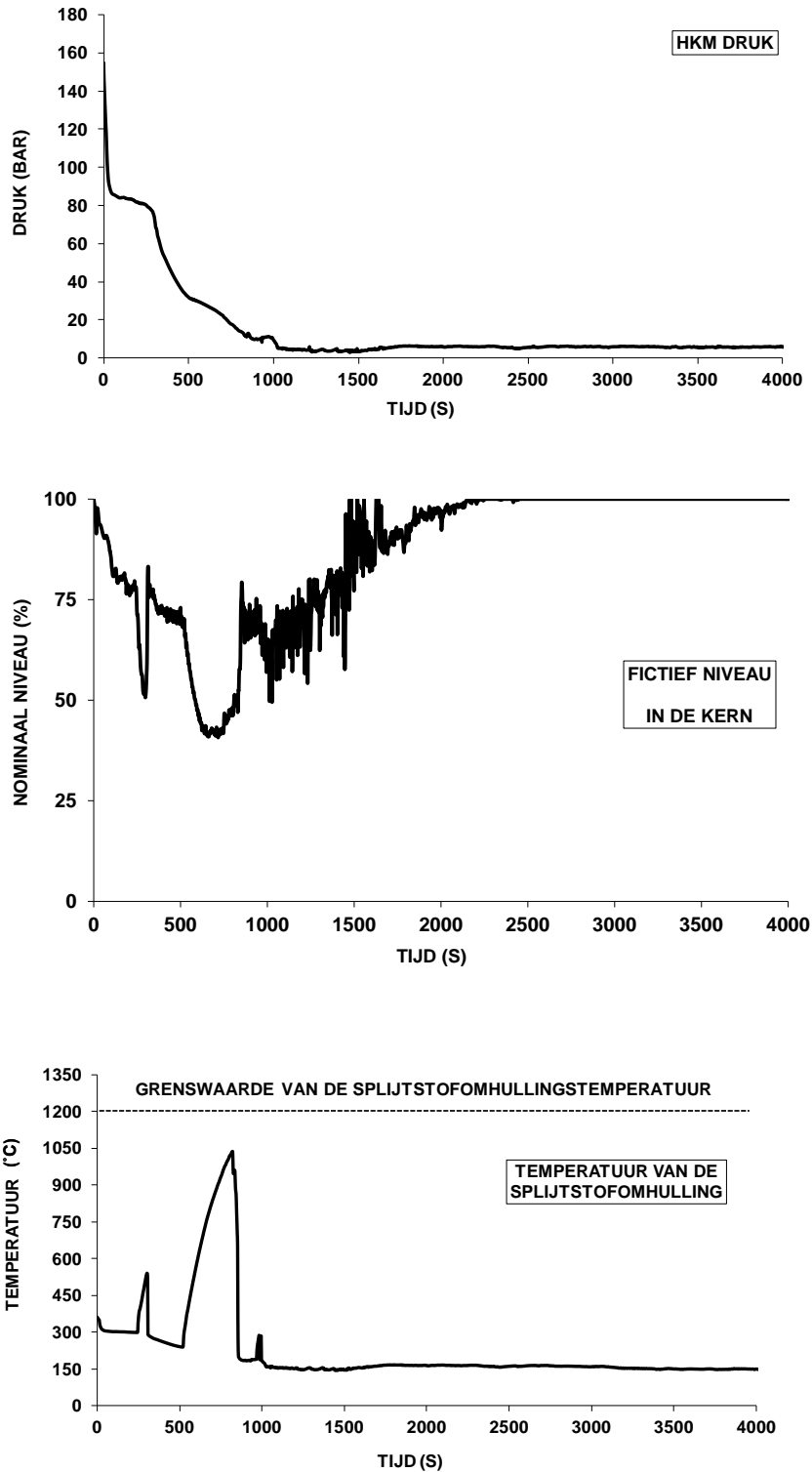
Op lange termijn is de kernkoeling gegarandeerd door het massa- en daarmee verbonden energieverlies via het lek en door de met behulp van de nakoelpompen geïnjecteerde hoeveelheid water.

De voor deze gebeurtenissen relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

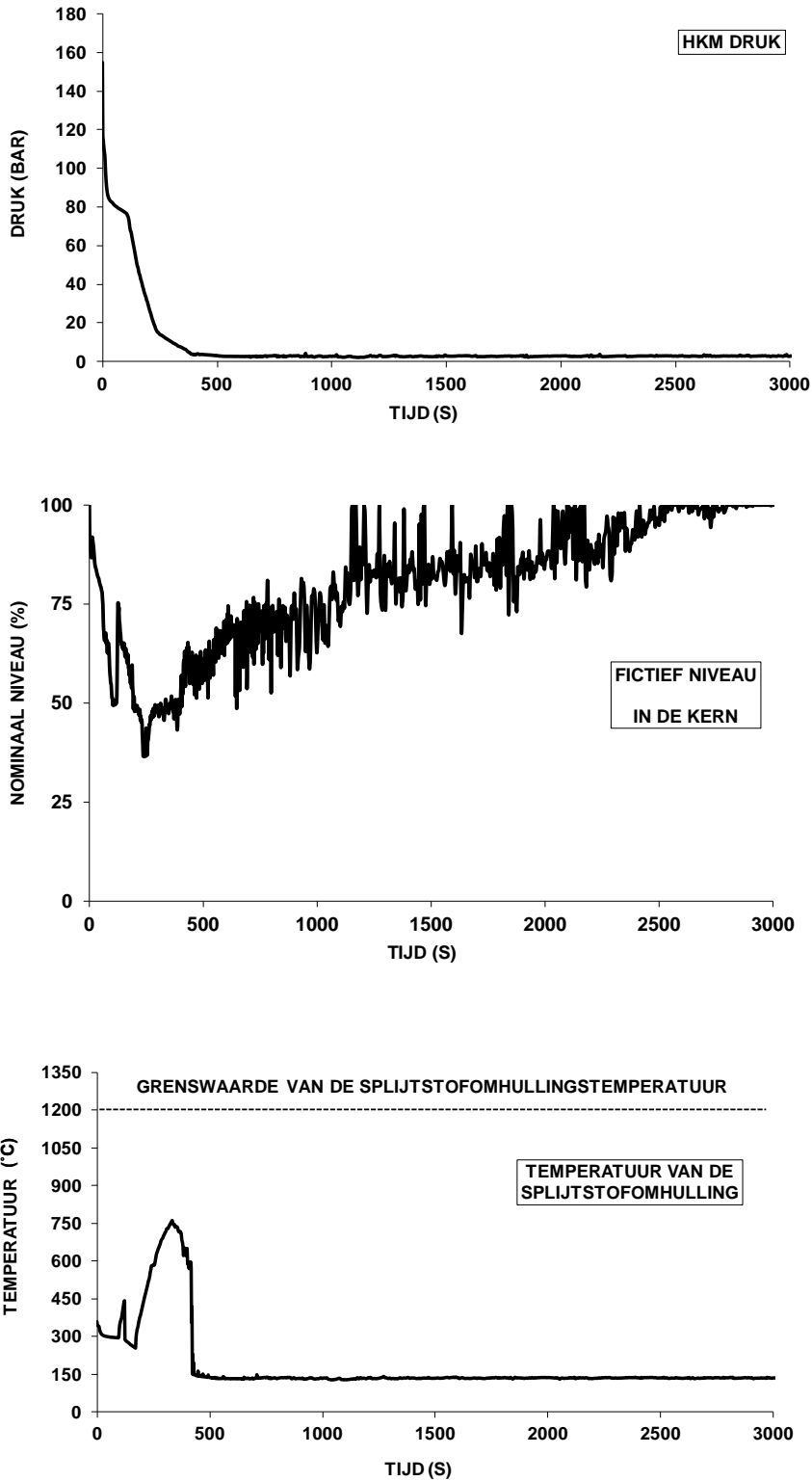
In figuur 7.4.4.12/1 t/m figuur 7.4.4.12/3 is voor enkele karakteristieke lekgroottes (20, 75 en 225 cm²) het verloop van de belangrijkste parameters weergegeven.



Figuur 7.4.4.12/1 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling – 20 cm² – (PIE 7.2.2)



Figuur 7.4.4.12/2 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling – 75 cm² – (PIE 7.2.2)



Figuur 7.4.4.12/3 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling – 225 cm² – (PIE 7.2.2)

7.4.4.13 Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3)

Doel van de ongevalsanalyse

PIE 7.2.3 behoort tot de LOCA analyses waarvoor moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de temperatuur van de splijtstofomhulling mag niet hoger worden dan 1200°C;
- de plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling moet minder zijn dan 17 %;
- de waterstofproductie mag 1 % van de grootst mogelijke waarde niet overschrijden;
- de door temperatuurverhoging veroorzaakte geometrische veranderingen in de kern mogen de koeling daarvan niet nadelig beïnvloeden;
- de langdurige afvoer van vervalwarmte moet gegarandeerd zijn.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- nakoelketen (TF, VF);
- noodstroomverzorgingsinstallatie.

Begin- en randvoorwaarden

Verondersteld wordt, dat de hoofdkoelmiddelleiding tussen hoofdkoelmiddelpomp en het reactorvat geheel afbreekt (2F-breuk). Vanwege de grote massastroom uit het lek en de stromingsomkering die daardoor in de reactor kern ontstaat, alsmede vanwege het verhinderen van stroming van stoom naar het lek gedurende de inundatiefase, is deze aangenomen plaats van de 2F-breuk conservatief.

Omdat de kerninundatiebuffertanks (TJ) bij de beheersing van ongevallen met grote lekkage een wezenlijke bijdrage leveren (weer opvullen en inunderen van de reactor kern), wordt enkelvoudig falen in een TJ-buffertank aan de hete zijde aangenomen. Bovendien wordt verondersteld, dat een andere TJ-buffertank in het lek voedt, waardoor de suppletie daaruit niet bijdraagt aan de directe koeling van de reactor kern.

Gelijktijdig met het aanspreken van RESA/TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie aangenomen. Het primair reserve suppletiesysteem (TW) wordt verondersteld niet in werking te treden.

Er wordt verondersteld, dat van de vier aanwezige nakoelpompen (LD-TJ), er slechts twee beschikbaar zijn en dat de LD-voeding niet plaatsvindt voordat de bijschakeltijden zijn verstreken en de noodstroomdiesels op toeren gekomen zijn.

Uitgangstoestand voor deze analyse is een bedrijfssituatie met verhoogd vermogen (vermogensfactor 1,06). Verder wordt in de berekening uitgegaan van een verhoogd vervalwarmtevermogen (veiligheidstoeslag van 8%).

De in de splijtstofstaven opgeslagen energie wordt conservatief gemaximaliseerd. Verder wordt het axiale vermogensprofiel zodanig gekozen dat het vermogensmaximum in de bovenste kernhelft aanwezig is.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Bij een groot lek dalen het niveau in de drukhouder en de druk in het primaire systeem snel vanwege het uitstromen van het hoofdkoelmiddel. Hierdoor stijgt de druk in de veiligheidsomhulling. Zodra een van deze parameters de RESA-grenswaarde bereikt, volgt RESA/TUSA. De reactor wordt door de

terugkoppeling op de reactiviteit van het hoge gehalte aan dampbellen in het hoofdkoelmiddel onderkritisch, dat wil zeggen zelfstandig afgeschakeld.

Gelijktijdig met de initiatie van de TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie verondersteld, waardoor de hoofdkoelmiddelpompen spanningsloos worden en de actieve componenten van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) niet ter beschikking zijn gedurende de tijd dat de noodstroomdiesels op toeren moeten komen.

Daalt de hoofdkoelmiddeldruk tot onder de grenswaarde $\min 3$, dan zijn de noodkoelcriteria bereikt. Daardoor worden alle voor de noodkoeling van de kern vereiste schakelhandelingen geïnitieerd. Het bijschakelen van de nakoelpompen van het TJ-systeem volgt na het bereiken van de grenswaarde $\min 5$ van de hoofdkoelmiddeldruk.

De suppletie van de nakoelpompen uit de kerninundatievoorradetanks geschiedt na het bijschakelen van de betreffende belastingstrap van het bijschakelprogramma van de noodstroomdiesels. Na het legen van de TJ-voorradetanks worden de nakoelpompen omgeschakeld op reactorputbedrijf.

Algemeen worden bij een ongeval met grote lekkage van hoofdkoelmiddel ten aanzien van de thermohydraulische condities in het primaire systeem de volgende vier, in de tijd elkaar volgende, fasen onderscheiden:

- drukontlasting van het primair systeem totdat drukvereffening met de veiligheidsomhulling is bereikt
- opnieuw vullen van het reactorvat tot aan de onderkant van de reactorkern
- inundatie van de reactorkern
- lange termijn koeling.

In de eerste fase stroomt het hoofdkoelmiddel aanvankelijk onderkoeld en later als tweefasemengsel uit het primair systeem in de veiligheidsomhulling. In de reactorkern vindt stromingsomkering plaats en de kern komt droog te staan.

Door het beginnende filmkoken en de radiale temperatuurvereffening in de splijststof, vindt een eerste stijging van de temperatuur van de splijststofomhulling plaats. Bij het dalen van de hoofdkoelmiddeldruk onder circa 25 bar beginnen de kerninundatiebuffertanks zelfstandig geboreerd water te suppleren. Omdat de drukvereffening op dit moment nog niet is bereikt, draagt slechts een deel van het koude been van het primair systeem toegevoerde water bij aan het opnieuw vullen van het reactorvat, terwijl het restant via het lek uitstroomt en pas bij reactorputbedrijf door de nakoelpompen (TJ) weer in het primair systeem gesuppleerd wordt.

In de tweede fase, nadat de drukvereffening in de veiligheidsomhulling heeft plaatsgevonden, wordt het reactorvat tot aan de onderkant van de kern gevuld vanuit de TJ-buffertanks via het koude en het hete been. Een deel van het water, dat in het hete been wordt gesuppleerd en bovenin het reactorvat instroomt, verdampt en fungeert daardoor als koeling voor de reactorkern. De stijging van de maximale temperatuur van de splijststofomhulling, die op het eind van de fase van drukvereffening op grond van de gereduceerde massastroom door de kern is begonnen, zet zich in deze fase voort. Dit volgt uit de conservatief berekende warmteoverdrachtscoëfficiënt voor deze ongevalsfasen, alsook uit de temperatuurvereffening tussen splijststof en splijststofomhulling.

In de derde fase wordt de reactorkern opnieuw geïnundeerd. Als het waterniveau de onderkant van de kern bereikt, treedt aan de opgewarmde splijststofstaven een sterke stoomvorming op, die tijdens de verdere inundatie voortduurt en voor voldoende koeling van de kern zorgt. Na beëindiging van de voeding vanuit de TJ-buffertanks, vindt de inundatie uitsluitend plaats via noodvoeding door de

nakoelpompen. Als gevolg van het inunderen van de reactorkern daalt de temperatuur van de splijstofomhulling tot het niveau van de hoofdkoelmiddeltemperatuur.

In de vierde fase, wanneer de reactorkern weer bedekt is, hebben de splijstofomhullingen nagenoeg dezelfde temperatuur als het hoofdkoelmiddel, zodat alleen nog de restwarmte van het primaire systeem afgevoerd moet worden. Deze warmteafvoer geschiedt door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), waarbij aanvankelijk uit de kerninundatievoorraadtanks en later uit de reactorput wordt aangezogen. De nakoelpompen zuigen het hoofdkoelmiddel aan uit de reactorput via de nakoelers, die de warmte via het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) afvoeren naar de TF-koelers.

Resultaat

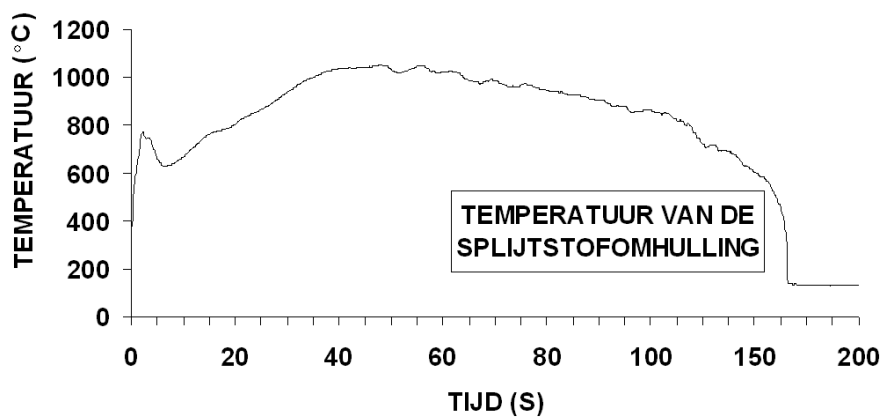
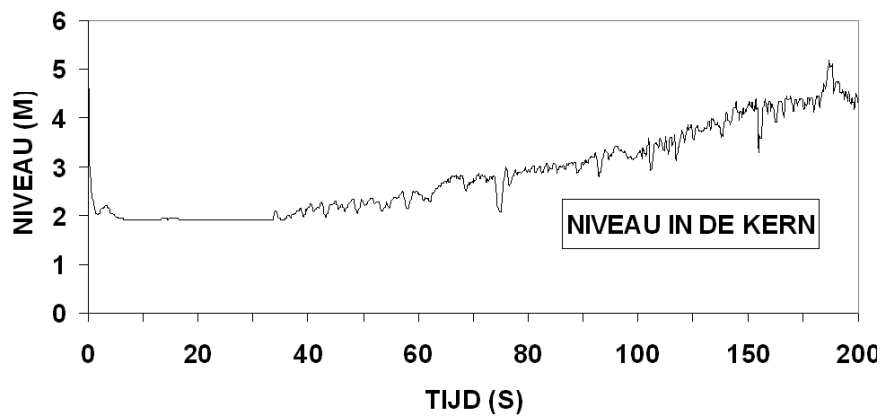
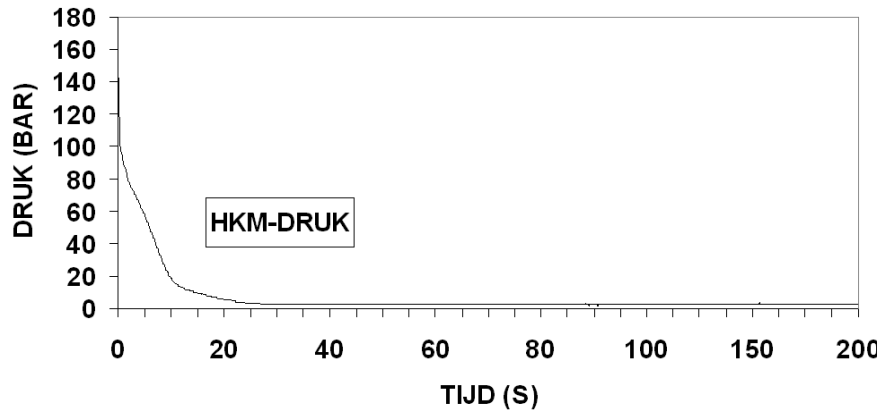
De analyse toont aan, dat bij dit ongeval de berekende maximale temperatuur van de splijstofomhulling ver onder de grenswaarde van 1200 °C blijft, en dat de gehele reactorkern binnen circa 200 s na het begin van het hoofdkoelmiddelverliesongeval gekoeld wordt. Daarmee is aangetoond dat:

- de waterstofproductie beneden de toelaatbare grenswaarde blijft;
- geometrische veranderingen niet of slechts in beperkte mate optreden, zodat de koeling van de kern gewaarborgd is.

Als maximale oxidatiediepte is ongeveer 4 % vastgesteld; dit ligt ruim onder de toelaatbare grenswaarde van 17 %.

Langdurige afvoer van restwarmte uit het primair systeem is gewaarborgd, omdat de druk in het primair systeem beneden de opvoerhoogte bij nullast van de nakoelpompen is gedaald en zowel het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) alsook de nakoelketen (TF, VF) ontworpen zijn op het afvoeren van de restwarmte bij een groot lek.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.13/1 Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3)

7.4.4.14 Lekkage van 20 cm² in het reactorvat, beneden de bovenkant van de kern (PIE D3-27 / 7.2.5)

Doel van de ongevalsanalyse

PIE D3-27 (7.2.5) behoort tot de LOCA analyses waarvoor moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de temperatuur van de splijtstofomhulling mag niet hoger worden dan 1200°C;
- de plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling moet minder zijn dan 17 %;
- de waterstofproductie mag 1 % van de grootst mogelijke waarde niet overschrijden;
- de door temperatuurverhoging veroorzaakte geometrische veranderingen in de kern mogen de koeling daarvan niet nadelig beïnvloeden;
- de langdurige afvoer van vervalwarmte moet gegarandeerd zijn.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- nakoelketen (TF, VF);
- noodvoedingswatersysteem (RL);
- hoofdstoomafblaasstation;
- noodstroomverzorgingsinstallatie.

Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt een lekkage van 20 cm² in het reactorvat verondersteld. Dit ongeval verschilt van de in paragraaf 7.4.4.12 beschreven analyse voor een lek van 20 cm² in het koude been, omdat voor de lekkage in het reactorvat het hoofdkoelmiddel in de waterfase uit het primair systeem in de veiligheidsomhulling stroomt. Bij het lek in het koude been kan dit zowel in de waterfase als in een tweefasen-mengsel zijn.

Uitgangstoestand voor deze analyse is een bedrijfssituatie met verhoogd vermogen (106 %). Verder wordt in de berekening uitgegaan van een verhoogd vervalwarmtevermogen (veiligheidstoeslag van 2 sigma).

Aangenomen wordt het enkelvoudig falen van een TJ-buffertank aan de hete been zijde. Het primair reserve suppletiesysteem (TW) wordt verondersteld niet in werking te treden.

Verder wordt de noodstroomsituatie verondersteld bij het initiëren van RESA/TUSA, waardoor de kerninundatiepompen vertraagd starten met voeden als gevolg van het dieselbijschakelprogramma. Secundairzijdig afregelen begint dus, op grond van het niet beschikbaar zijn van de turbine-omloop, bij een hogere temperatuur.

Het eerste bereikte RESA-signaal wordt genegeerd.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Bij de lekkage in het reactorvat daalt het niveau in de drukhouder en de hoofdkoelmiddeldruk. Dit hoofdkoelmiddelverlies kan niet door het volumeregelsysteem (TA) worden gecompenseerd. Als de grenswaarde "druk in het reactorsysteem < min1" wordt bereikt, dan zou dit leiden tot RESA, maar dit eerste bereikte signaal wordt genegeerd.

Door de verdere daling van de hoofdkoelmiddeldruk wordt de installatie automatisch afgeregeld met een gradiënt van 100 K/h. Aanvankelijk gebeurt dit over de condensor; in de noodstroomsituatie via de hoofdstoomafblaasventielen.

Bij het bereiken van de grenswaarden "drukhouderniveau < min" en "druk in het reactorkoelsysteem < min2" (noodkoelcriteria) volgt RESA en TUSA. Als gevolg van de veronderstelde noodstroomsituatie worden de noodstroomdiesels gestart en kunnen de kerninundatiepompen vertraagd voeden als gevolg van het dieselbijschakelprogramma. Secundairzijdig worden de noodvoedingswaterpompen gestart.

Als gevolg van het lek daalt het fictief niveau in het primair systeem en in het reactorvat. Het fictieve niveau geeft het niveau aan waarbij verondersteld is dat al het hoofdkoelmiddel zich in de vloeibare fase bevindt. In werkelijkheid zal het niveau van een mengsel van vloeistof en damp zich hoger bevinden.

Door de daling van het (fictief) niveau in het reactorvat raakt de kern onbedekt en vindt een eerste stijging van de temperatuur van de splijstofomhulling plaats. Als gevolg van de heersende toestand in het primair systeem wordt het hoofdkoelmiddel in de intermediate benen (tussen stoomgenerator en hoofdkoelmiddelpomp) richting reactorvat gestuurd (*loop seal clearance*), waardoor de reactor kern wordt bedekt. Hierdoor neemt de temperatuur van de splijstofomhulling weer af.

Omdat het lekdebiet groter is dan het injectiedebiet van het kerninundatiesysteem zal het (fictief) niveau in het reactorvat opnieuw dalen en raakt de reactor kern weer onbedekt. Hierop volgt de tweede stijging van de temperatuur van de splijstofomhulling. De stijging wordt gestopt door de weer optredende *loop seal clearance* en de voeding vanuit de TJ-buffertanks. De reactor kern wordt opnieuw bedekt en door de suppletie van de nakoelpompen uit de kerninundatietanks blijft de kern bedekt.

Op lange termijn is de kernkoeling gegarandeerd door het massa- en daarmee verbonden energieverlies via het lek en de vanuit het kerninundatiesysteem geïnjecteerde hoeveelheid water. Deze zijn voldoende om de vervalwarmte, alsmede de in het primair systeem opgeslagen energie, te kunnen afvoeren.

Afhankelijk van het niveau in de kerninundatievoorradetanks zuigen de nakoelpompen uit de tanks of uit de reactorput aan. Het putwater wordt vóór het opnieuw voeden gekoeld in de nakoelers. De vervalwarmte wordt via de nageschakelde koelketen aan het nevenkoelwater afgegeven.

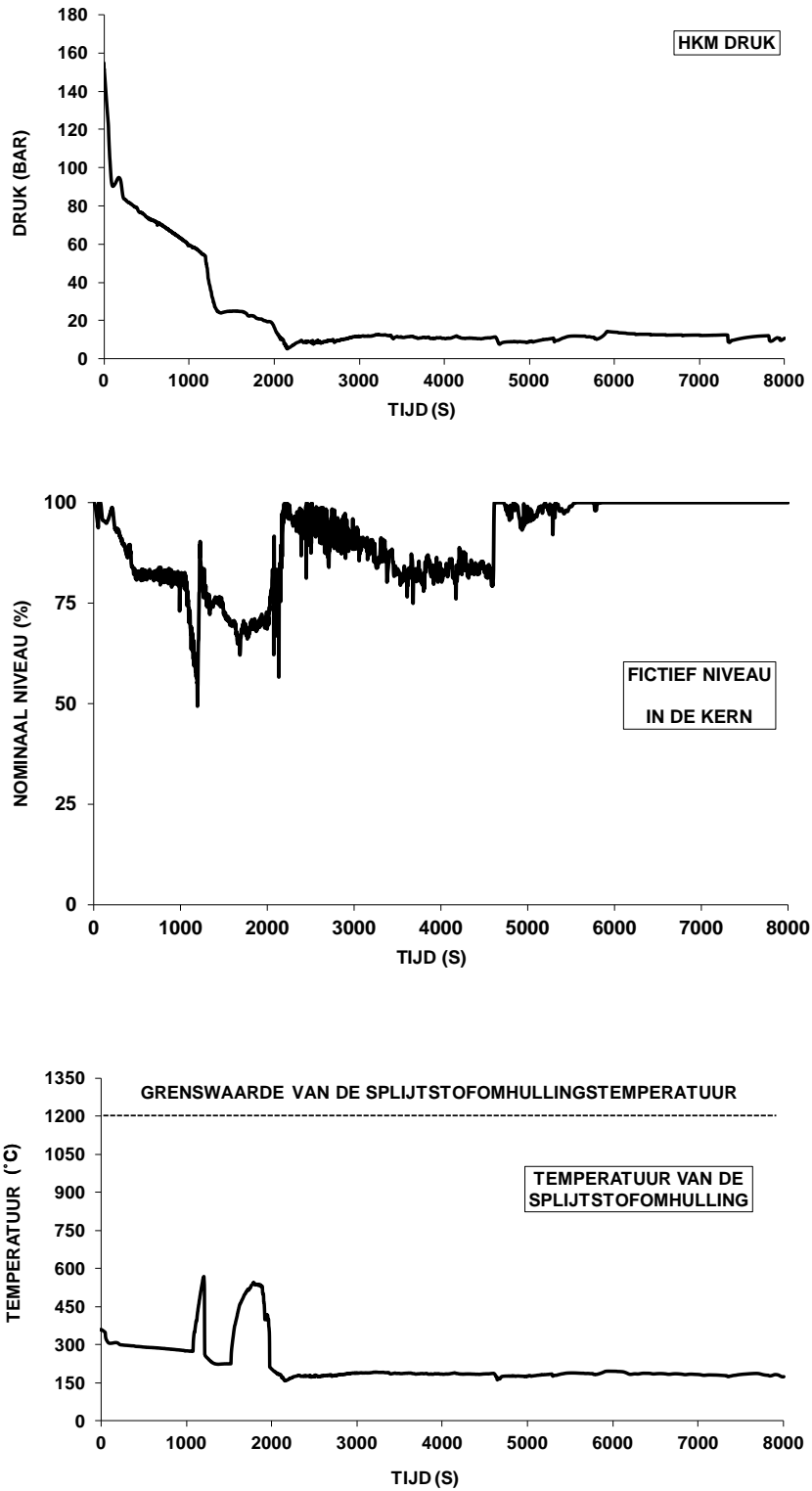
Resultaat

De analyses toont aan dat de temperatuur van de splijstofomhulling een maximale waarde van 572 °C bereikt en daarmee ruimschoots onder de grenswaarde van 1200 °C blijft. De kern blijft zodanig gekoeld waarbij bewezen is dat:

- de plaatselijke oxidaties van de splijstofomhulling voldoende beperkt blijven;
- de waterstofproductiefactoren onder de grenswaarde blijft;
- negatieve beïnvloeding van de koeling van de kern als gevolg van geometrische veranderingen uitgesloten kan worden.

Op lange termijn is de kernkoeling gegarandeerd door het massa- en daarmee verbonden energieverlies via het lek en door de met behulp van de nakoelpompen geïnjecteerde hoeveelheid water.

De voor deze gebeurtenissen relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.14/1 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling – 20 cm² reactorvat – (PIE 7.2.5)

7.4.4.15 Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)

Doel van de ongevalsanalyse

Ten aanzien van de thermohydraulische analyse moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de splijststofomhulling moet dicht blijven (integriteit);
- voldoende koeling van de kern moet gegarandeerd zijn;
- de defecte stoomgenerator mag niet worden overvuld (niveau < circa 13 m).

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- reactorbeveiligingssysteem (YZ);
- volumeregelsysteem (TA);
- primair reservesuppletiesysteem (TW)
- afblaasstation voor de drukbeveiliging van de secundaire zijde en warmteafgifte naar de omgeving;
- secundair reservesuppletiesysteem (RS).

Begin- en randvoorwaarden

De te beschouwen lek grootte komt overeen met het lekoppervlak dat ontstaat als één stoomgeneratorpijp geheel los breekt van de pijpenplaat, ongeacht of er sprake is van schade aan één of aan meerdere pijpen. De veronderstelde lek grootte is daarmee gelijk aan de dubbele doorsnede van een stoomgeneratorpijp.

Ten behoeve van de radiologische analyses is aangenomen dat de condensor of de turbine-omloop niet ter beschikking staat omdat alleen dan een noemenswaardige afgifte van radioactiviteit aan de omgeving plaatsvindt. Dit is het geval als de eigenbedrijfsverzorging uitvalt (PIE 7.3.2.2), en de restwarmte via de hoofdstoom-afblaasregelkleppen naar de omgeving afgevoerd wordt.

Bij het begin van het ongeval is de installatie op vol vermogen. Omdat de analyse als doel heeft de uitgangswaarden voor de radiologische analyse te bepalen is de situatie met vol vermogen afdekkend voor alle vermogenstoestanden.

Vanwege de dalende hoofdkoelmiddeltemperatuur, is het beschouwen van de kerntoestand bij cycluseinde ongunstiger voor het verloop van het ongeval dan bij cyclusbegint. Verder is bij de analyse een verhoogd vervalwarmtevermogen in rekening gebracht.

Tegelijkertijd met de TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie (uitval van eigenbedrijfsverzorging) verondersteld.

Als enkelvoudig falen is aangenomen, dat de driewegklep van het volumeregelsysteem (TA) niet op sproeien in de drukhouder omgestuurd wordt. Daardoor vervalt de mogelijkheid tot sproeien in de drukhouder (via de recuperatieve warmtewisselaars).

Verder wordt aangenomen, dat het eerst bereikte RESA-sigitaal wordt genegeerd, en dat strenger dan het criterium van enkelvoudig falen het noodvoedingswatersysteem (RL) niet ter beschikking staat.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door de stoomgeneratorpijpbreuk komt hoofdkoelmiddel in de secundaire kringloop terecht. Kort na het begin van het ongeval spreken de activiteitsmetingen in de hoofdstoomleidingen aan, zodat door

het bereiken van de grenswaarde "activiteit > max" (^{16}N -signaal) reactorsnelafschakeling (RESA) zou volgen. Er wordt echter verondersteld, dat op dit signaal geen RESA volgt.

Door het ^{16}N -signaal wordt met een vertraging van 5 s TUSA ingeleid. Als de eigenbedrijfsverzorging beschikbaar is, wordt de hoofdstoom via de turbine-omloop naar de condensors geleid. Er wordt echter verondersteld dat tegelijkertijd met TUSA de eigenbedrijfsverzorging uitvalt (noodstroomsituatie). Deze conservatieve aanname heeft tot gevolg dat de automatische drukverlaging aan primaire zijde slechts in beperkte mate uitgevoerd kan worden. In die situatie wordt de hoofdstoom via de hoofdstoom-afblaasregelkleppen over het dak afgevoerd en wordt er dus activiteit aan de omgeving afgegeven.

Door de breuk van een stoomgeneratorpijp ontstaat eerst, op grond van het drukverschil tussen primair en secundair systeem, een lekkage van circa 40 kg/s. Door het ^{16}N -signaal wordt het sproeien in de drukhouder door het TA- en het TW-systeem gestart, waardoor de hoofdkoelmiddeldruk sterk daalt.

Omdat 5 s na het ^{16}N -signaal TUSA geïnitieerd wordt, stijgt de hoofdstoomdruk. Hierdoor vermindert het drukverschil primair/secundair en neemt het lektempo snel af.

Omdat tegelijk met TUSA het begin van de noodstroomsituatie verondersteld is, vallen onder meer de hoofdkoelmiddelpompen uit. Hierdoor wordt als eerstvolgende RESA-grenswaarde "toerental hoofdkoelmiddelpomp < 93 %" bereikt, waarop RESA volgt (ongeveer 20 s na het begin van het ongeval).

Door de lekkage van hoofdkoelmiddel naar de secundaire zijde daalt in eerste instantie het niveau in de drukhouder. Vervolgens loopt dit niveau weer op, omdat door het uitvallen van de hoofdkoelmiddelpompen de opwarmmarge stijgt en het volume van het hoofdkoelmiddel toeneemt. Na circa 200 s vormt zich een dampbel in de ruimte onder het reactorvatdeksel. Bij een niveau in de drukhouder van circa 0,6 m boven het gewenste niveau worden het TA- en TW-systeem van sproeien in de drukhouder omgeschakeld naar injectie in het primair systeem.

Daarmee is de drukdaling voorlopig beëindigd (ongeveer 240 s na het begin van het ongeval). Omdat de suppletie van het TW- en TA-systeem niet voldoende is om de lekkage te compenseren, daalt het niveau in de drukhouder weer, zodat ongeveer 680 s na het begin het ongeval het TA- en TW-systeem nogmaals kortstondig op sproeien worden omgeschakeld. De daardoor veroorzaakte drukdaling heeft een vergroting van het stoomvolume in de ruimte van het reactorvatdeksel tot gevolg, waardoor het niveau in de drukhouder weer snel stijgt en het sproeien wordt beëindigd. Het stoomvolume is aanzienlijk kleiner dan de ruimte onder het reactorvatdeksel, zodat stoomvorming in de hoofdkoelmiddelleidingen uitgesloten kan worden.

Omdat de afvoer van de hoofdstoom via de turbine-omloopleiding vanwege de noodstroomsituatie niet beschikbaar is neemt de hoofdstoomdruk toe totdat de afblaasregelkleppen openen. De hoofdstoomdruk wordt vervolgens constant gehouden door middel van de afblaasregeling.

Als gevolg van de vermogensafname na de RESA dalen de waterniveaus in beide stoomgeneratoren. Het waterniveau in de defecte stoomgenerator neemt door de lekwatermassa na RESA voortdurend toe. In de intacte stoomgenerator daalt het niveau voortdurend vanwege de aangenomen niet beschikbaarheid van het noodvoedingswatersysteem.

De concentratie hoofdkoelmiddel, afkomstig van de defecte stoomgenerator, in de hoofdstoom stijgt tot circa 50 %.

Er is verondersteld, dat het bedienend personeel na ongeveer 30 minuten ingrijpt om de lozing van activiteit te beëindigen. Tot dat tijdstip is totaal ongeveer 24.000 kg stoom over het dak afgeblazen, met daarin ongeveer 3.500 kg hoofdkoelmiddel met een restvochtigheid van 0,25 %. Dit betekent, dat circa 9 kg hoofdkoelmiddel in de waterfase over het dak is afgevoerd naar de omgeving.

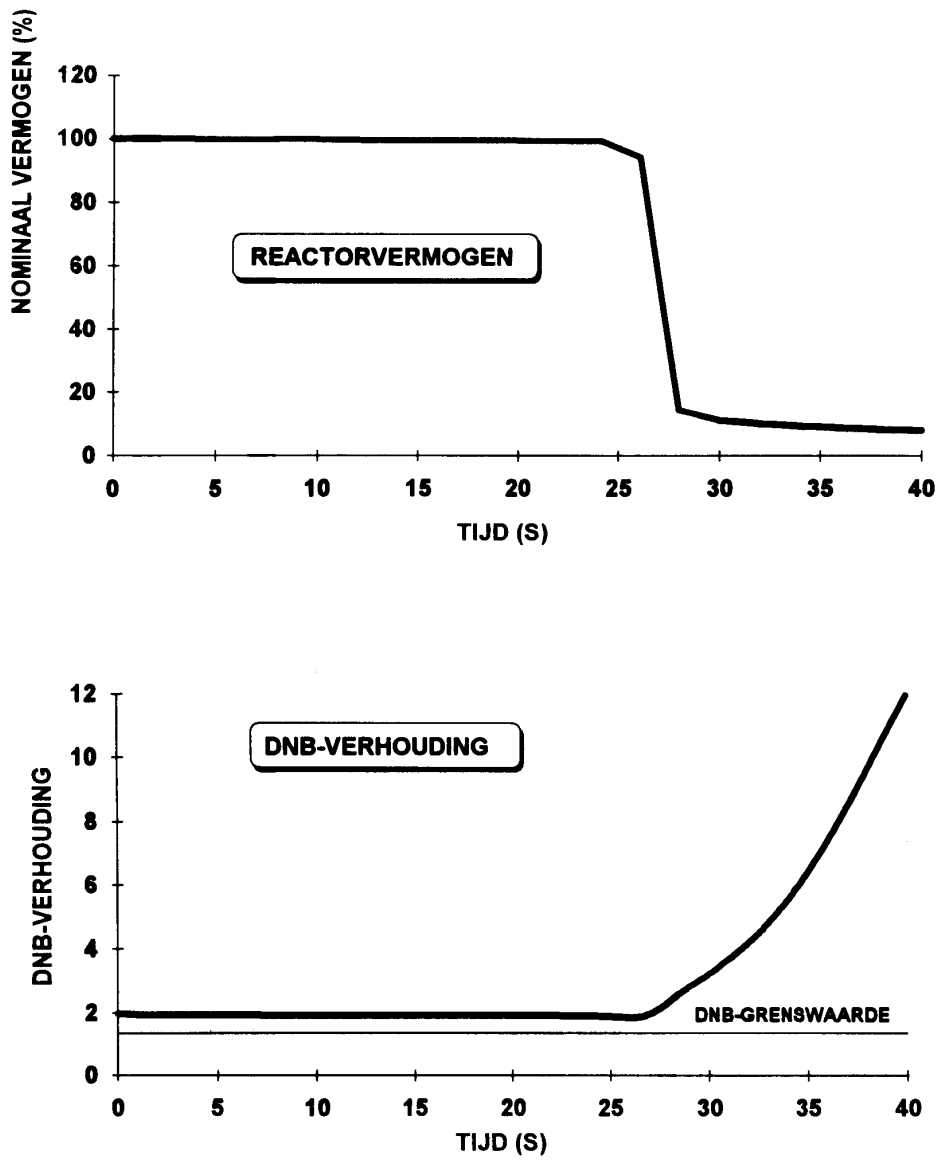
Resultaat

De analyse toont aan, dat in de beschouwde tijdsduur de defecte stoomgenerator niet overvuld wordt. De warmteafvoer via de secundaire zijde en daarmee voldoende kernkoeling zijn gegarandeerd. Omdat filmkoken vermeden wordt, doordat de DNB-verhouding boven de betreffende grenswaarde blijft, kan schade aan de splijststofomhulling uitgesloten worden.

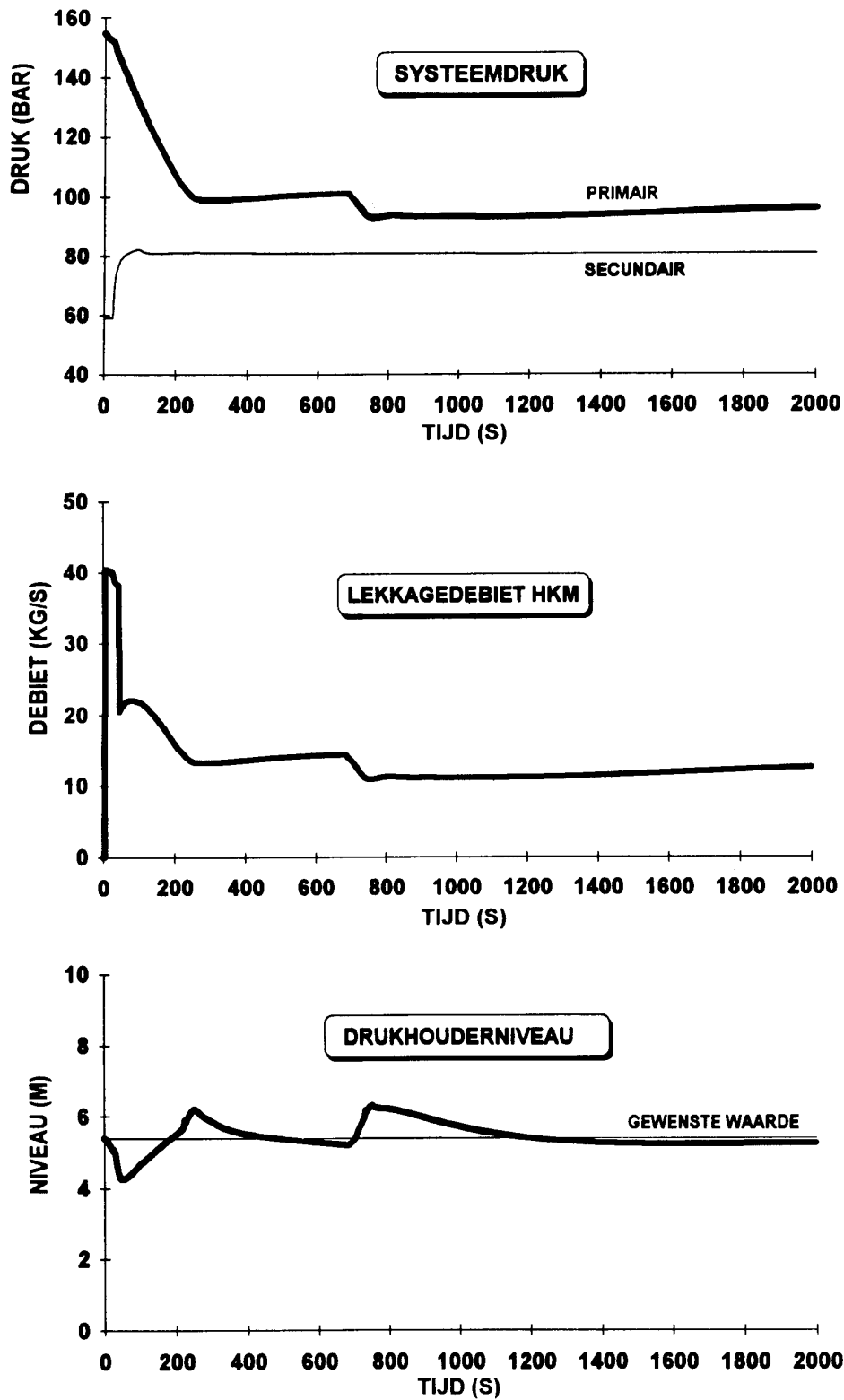
De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

De thermo-hydraulische beschermingsdoelstellingen kunnen ook gerealiseerd worden zonder de beschikbaarheid van het primair reservesysteem (TW), maar met het noodvoedingswatersysteem (RL).

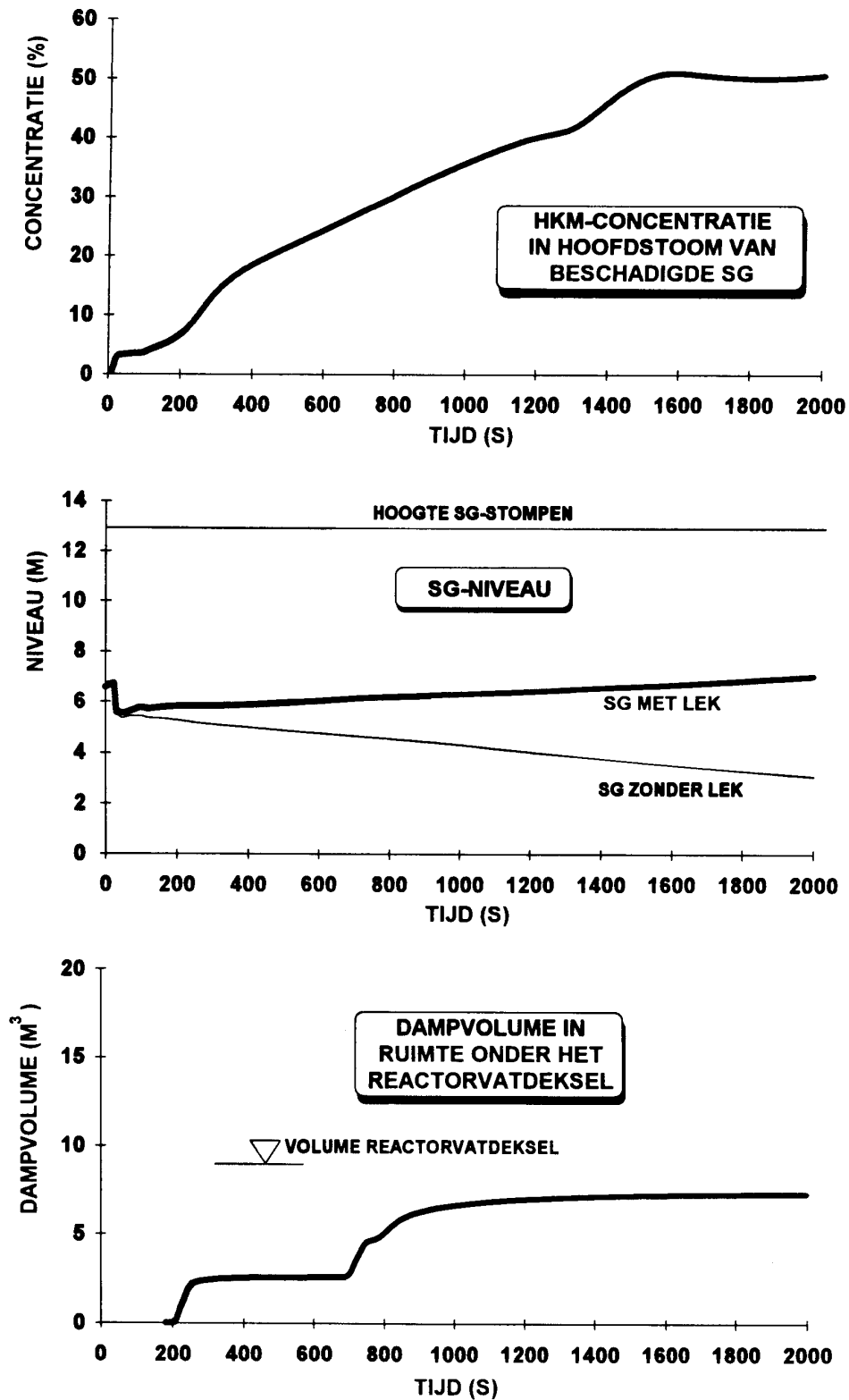
Het niet overschrijden van de dosiscriteria als gevolg van de lozing van hoofdkoelmiddel naar de omgeving wordt behandeld in paragraaf 7.5.



Figuur 7.4.4.15/1 Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)



Figuur 7.4.4.15/2 Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)



Figuur 7.4.4.15/3 Bezijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)

7.4.4.16 **Gevolgen van een aardbeving op gebouwen en systemen aardbevingsklasse I (PIE 9.1.1)**

Doel van de ongevalsanalyse

Bij dit ongeval ontstaat door droogkoken van beide stoomgeneratoren een primairzijdige onderkoelingstransiënt. Hierbij dienen de volgende beschermingsdoelstellingen te worden vervuld:

- handhaving van onderkritikaliteit op lange termijn;
- handhaving van warmteafvoer via het secundair systeem.

Deze beschermingsdoelstellingen moeten gedurende 10 uur slechts met behulp van de volgende aardbevingsbestendige, veiligheidsrelevante systemen/componenten worden gewaarborgd:

- primair reservesuppletiesysteem (TW);
- secundair reservesuppletiesysteem (RS).

Begin- en randvoorwaarden

Aangezien dit ongeval wordt beschouwd als een zeldzame gebeurtenis, waarbij de getroffen maatregelen zijn gericht op risico-vermindering, wordt de meest waarschijnlijke bedrijfstoestand (volvermogen) als begintoestand van het ongeval aangenomen.

Als initiërende gebeurtenis wordt verondersteld, dat tengevolge van een aardbeving verschillende aansluitleidingen < DN 200 breken. Dit komt concreet neer op de breuk van aansluitleidingen die samen per hoofdstoomleiding een breukoppervlak overeenkomend met dat van een pijp van maximaal DN 150 hebben.

Als gevolg van de aardbeving zijn gelijktijdig de eigenbedrijfsverzorging inclusief de beide externe voedingen en de noodstroomdieselaggregaten van noodstroomnet 1 niet ter beschikking. De stroomvoorziening komt derhalve bij dit ongeval uitsluitend via noodstroomnet 2 tot stand.

Als ongunstige uitgangstoestand voor de gebeurtenis wordt de berekening voor een kern vrij van geboreerd water aan het cycluseinde uitgevoerd, vanwege de grote invloed op de reactiviteit van de hoofdkoelmiddeltemperatuur.

Verder wordt aangenomen, dat de hoofdstoomafsluiters niet functioneren, en dat uit het lek zuivere stoom uitstroomt (maximale energie-afgifte)

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het, als gevolg van de aardbeving, ontstaan van de noodstroomsituatie, lopen allereerst de hoofdkoelmiddelpompen uit en volgt RESA/TUSA door het signaal "toerental beide hoofdkoelmiddelpompen < min 1 (93%)". Daardoor wordt de kerndoorstroming kleiner en ontstaat er natuurlijke circulatie in beide hoofdkoelmiddelkringlopen. Tengevolge van TUSA neemt de hoofdstoomdruk kortstondig toe, maar daalt vervolgens snel door de uitstroming van stoom uit de veronderstelde lekken.

Bij het ontstaan van de noodstroomsituatie worden vóór het starten van de diesels alle verbruikers afgeschakeld. Na het op toeren komen van de diesels van noodstroomnet 2, worden volgens het diesel-bijgeschakelprogramma het RS- en TW-systeem weer bijgeschakeld, zodat circa 20 s na het begin van de noodstroomsituatie deze veiligheidsrelevante systemen weer beschikbaar zijn.

Door de lekkage van hoofdstoom en door het als gevolg van de noodstroomsituatie uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen, dalen de druk en het niveau van de beide stoomgeneratoren gestaag, totdat ongeveer 93 s na het begin van het ongeval het DAF-signaal (grenswaarde drukdalingsgradiënt) komt. Hierdoor sluiten de hoofdstoomafsluiters en de breukbeveiligingskleppen,

waarbij echter wordt verondersteld, dat de hoofdstoomafsluiters niet sluiten. De hoofdstoomdruk en het niveau in de stoomgeneratoren dalen daardoor verder, zodat in het verdere verloop secundaire reservesuppletie (RS) naar beide stoomgeneratoren bijgeschakeld wordt. Omdat door de nog hoge primairzijdige temperatuur het toegevoegde RS-water direct verdampt, dalen de niveaus in beide stoomgeneratoren verder, totdat circa 395 s na het begin van het ongeval beide stoomgeneratoren vrijwel leeg zijn.

Aan de primaire zijde veroorzaakt de hoge warmteafvoer een snelle afkoeling en dus volumereductie van het hoofdkoelmiddel, met als gevolg een sterke daling van de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder. Hierdoor worden na circa 235 s de noodkoelcriteria bereikt, en worden in hoog tempo onder meer de volgende reactorbeveiligingsmaatregelen effectief:

- afsluiting van de ventilatie van de veiligheidsomhulling;
- isolatie van het primaire systeem;
- inschakeling van het primaire reservesuppletiesysteem (TW).

De door de sterke afkoeling veroorzaakte reactiviteitstoename samen met de reactiviteitstoename ten gevolge van de vermindering van het vermogen is zo groot, dat de reactiviteit van de regelementen samen met de reactiviteit van het borium onvoldoende is om de reactor onderkritisch te houden zodat ongeveer 200 s na het begin van het ongeval de reactor weer kritisch wordt. Het maximaal bereikte vermogen bedraagt ongeveer 15,5 %.

Door de vermogensproductie koelt het hoofdkoelmiddel minder af, zodat eerst na circa 400 s het TW-systeem de volumereductie door de afkoeling van het hoofdkoelmiddel kan compenseren en dus de hoofdkoelmiddeldruk weer stijgt, totdat het overstortventiel van het TW-systeem aanspreekt en het voedingsdebiet wordt teruggenomen.

Door de afnemende secundaire druk in de stoomgenerator daalt ook de door het lek afgevoerde stoomhoeveelheid. Na ongeveer 2650 s is het lekkagedebiet zover gedaald, dat niet meer de gehele door het RS-systeem gesuppleerde hoeveelheid water verdampt. De beide stoomgeneratoren worden hierdoor weer langzaam gevuld.

De concentratie geboreerd water in het hoofdkoelmiddel neemt door de werking van het TW-systeem voortdurend toe. Hierdoor wordt de reactiviteitstoename als gevolg van de terugkoppeling van de hoofdkoelmiddeltemperatuur zover te niet gedaan, dat de reactor ongeveer 8000 s na het begin van het ongeval weer onderkritisch wordt.

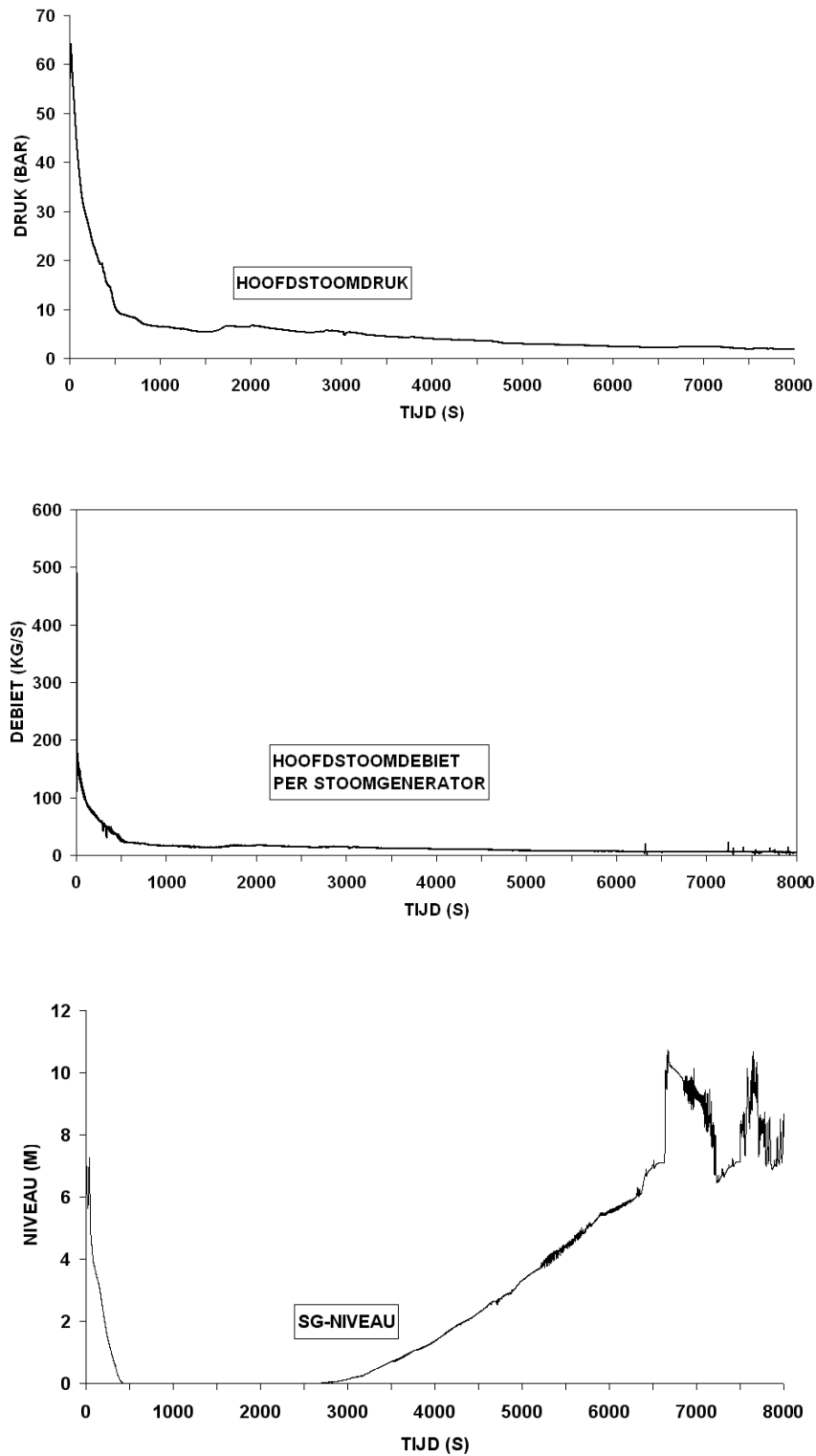
Ongeveer drie uur na het begin van het ongeval heeft de hoofdkoelmiddeltemperatuur bij de reactorintrede zich gestabiliseerd op circa 115 °C, en bevindt de installatie zich bij een hoofdkoelmiddeldruk van circa 157 bar in een stationaire onderkritische toestand, waarbij de restwarmte via beide stoomgeneratoren wordt afgevoerd.

Resultaat

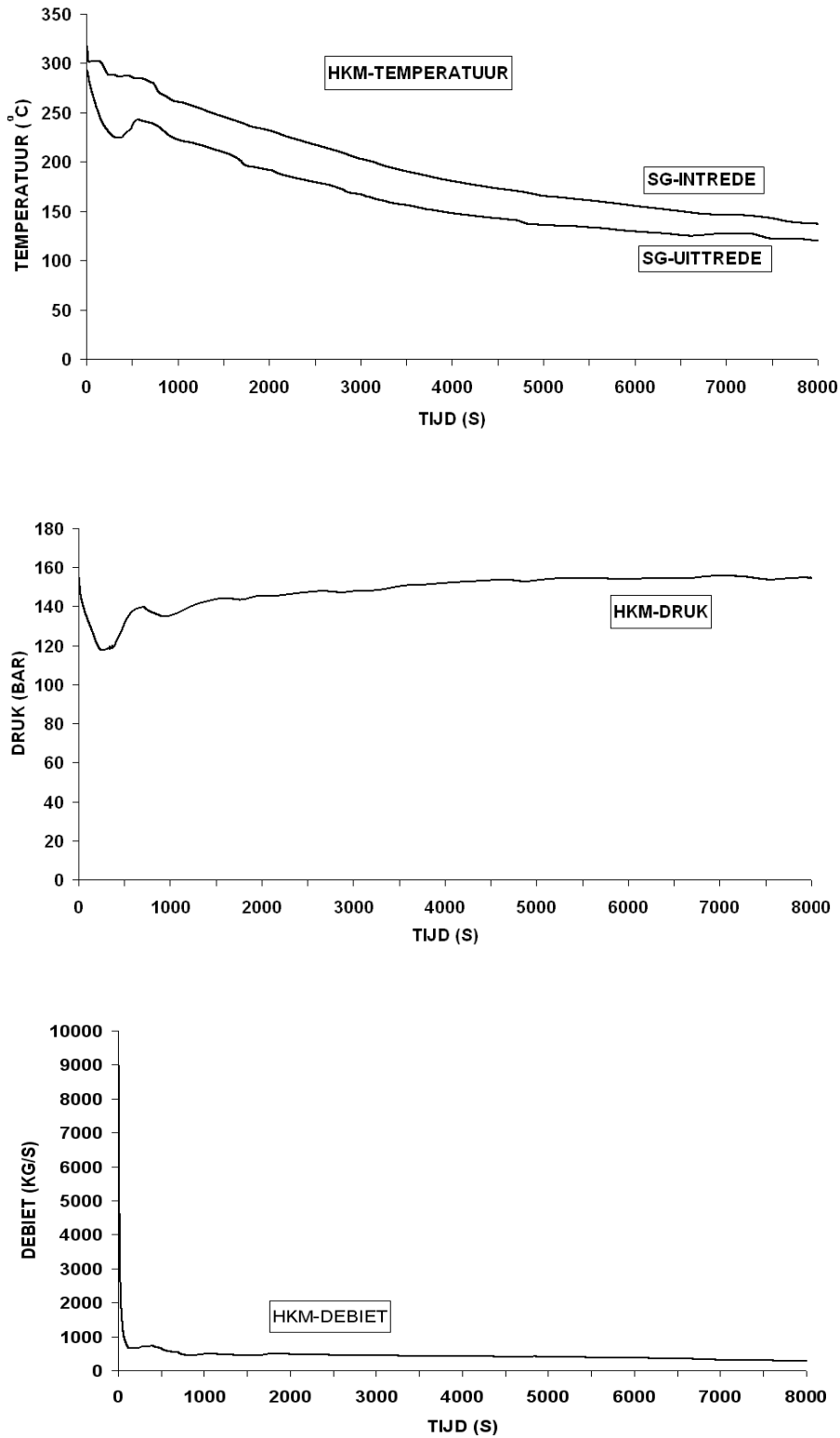
De analyse toont aan, dat het ongeval door het ingrijpen van veiligheidssystemen beheerst wordt. De afvoer van de restwarmte is door de voeding vanuit het RS-systeem gegarandeerd. De reactor wordt kort na het begin van het ongeval weer kritisch. Door de suppletie van geboreerd water via het TW-systeem wordt de reactor echter ongeveer 8000 s na het begin van het ongeval weer onderkritisch en blijft vervolgens onderkritisch.

Uit de af te voeren vervalwarmte en de afkoeling van het primair systeem is af te leiden dat de totale watervoorraad van het RS-systeem ruimschoots het dubbele bedraagt van de benodigde hoeveelheid gedurende een periode van 10 uur.

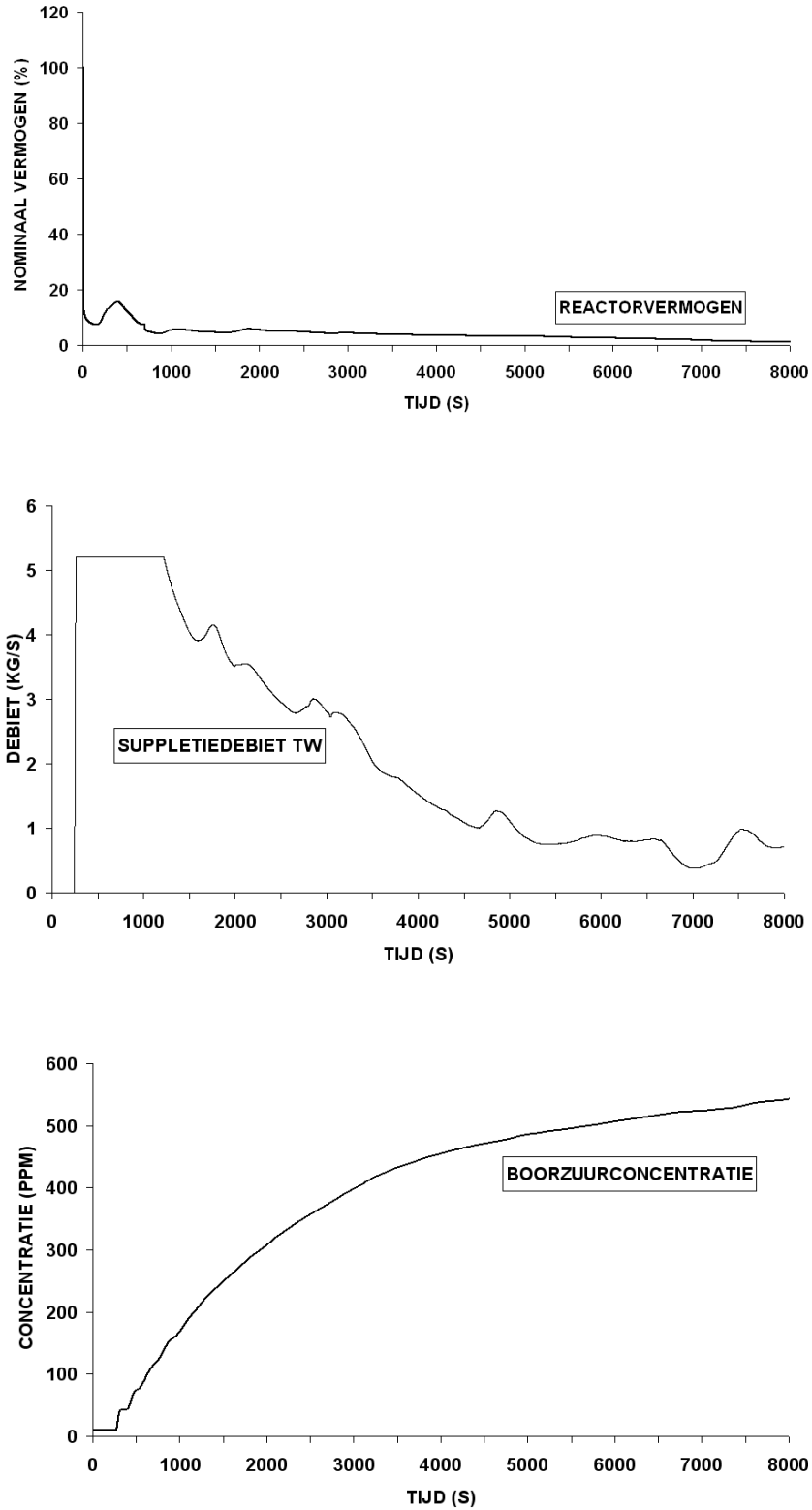
De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.16/1 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (PIE 9.1.1)



Figuur 7.4.4.16/2 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (PIE 9.1.1)



Figuur 7.4.4.16/3 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (PIE 9.1.1)

7.4.4.17 Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 10.2)

Doel van de ongevalsanalyse

De voor het overtoerental van de hoofdkoelmiddelpomp afdekkende analyse wordt geacht samen te gaan met een LOCA, omdat alleen een LOCA tot een relatief groot overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp kan leiden. In deze analyse moet worden aangetoond dat bij het afbreken van de grootste aansluiting op het koude been van het primair systeem (tussen de hoofdkoelmiddelpomp en het reactorvat) de hoofdkoelmiddelpompen geen ontoelaatbaar hoge toerentallen bereiken. Zodoende kan vervolgschade als gevolg van het defect raken van het vliegwiel van de hoofdkoelmiddelpomp worden uitgesloten.

Deze beschermingsdoelstelling wordt door maatregelen in het ontwerp van de installatie gewaarborgd (breukconcept zie paragraaf 5.9, ontwerp hoofdkoelmiddelpompen zie paragraaf 6.2).

Begin- en randvoorwaarden

Het hier te leveren bewijs betreft een deel van de ongevalsanalyse "Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2.)" (zie paragraaf 7.4.4.12).

Aangenomen wordt een lekoppervlak van 225 cm^2 in het koude been, daar hierdoor het maximaal te veronderstellen aandrijfmoment op de pomprotor veroorzaakt wordt.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Het verloop van het ongeval komt overeen met het in paragraaf 7.4.4.12 beschreven verloop van een ongeval met een lek in het primair systeem.

Bij het bereiken van het reactorbeveiligingscriterium "drukhouderniveau < min" en "druk in het reactorkoelsysteem < min2" volgen RESA en TUSA.

Gelijktijdig met de initiatie van de TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie aangenomen.

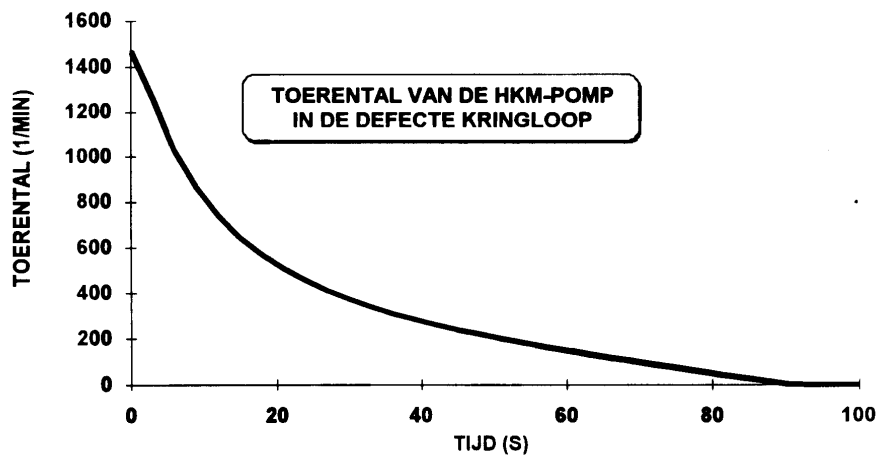
Daardoor worden de hoofdkoelmiddelpompen spanningsloos en lopen uit. De uitloop van de hoofdkoelmiddelpomp in de defecte kringloop is grafisch weergegeven.

De door het uitstromende lekwater veroorzaakte hydraulische krachten leiden tot een iets langzamer uitlopen van de hoofdkoelmiddelpompen dan zonder het lek het geval zou zijn geweest.

Resultaat

De analyse toont aan, dat zelfs bij het afbreken van de grootste aansluitleiding aan de koude benen van de hoofdkoelmiddelkringloop, de extra hydraulische krachten niet tot een overtoerental van de hoofdkoelmiddelpomp in de defecte kringloop leiden maar tot een bijna normaal uitlopen van beide hoofdkoelmiddelpompen. Het defect raken van een hoofdkoelmiddelpomp door een te hoog toerental is bij de veronderstelde lekkage dus uitgesloten.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstelling wordt gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.17/1 Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 10.2)

7.4.4.18 **Bedrijfstransiënten waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (PIE 10.5)**

Doel van de ongevalsanalyse

Bij dit ongeval wordt verondersteld dat de regelementen noch door aansturing via de regeling noch door RESA-signalen in beweging komen. In dat geval wordt het ongeval ingeleid door uitval van de hoofdvoedingswaterpompen. Dit zal in combinatie met ATWS tot een sterke toename van de hoofdkoelmiddeldruk leiden. In paragraaf 7.7 is nog een andere variant van ATWS opgenomen waarbij het ongeval wordt ingeleid door uitval van de eigen spanningsvoorziening (noodstroomsituatie).

De analyse van dit ongeval, dat in een korte tijd afloopt, moet aantonen dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de warmteafvoer moet gegarandeerd zijn;
- handhaving van de langdurige onderkritikaliteit.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aan de primaire zijde;
- noodvoedingswatersysteem (RL) voor het zeker stellen van de warmteafvoer uit de stoomgeneratoren;
- volumeregelsysteem (TA), nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) voor het handhaven van de langdurige onderkritikaliteit;
- de temperatuur van de splijtstofomhulling mag niet hoger worden dan 1200°C;
- de plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling moet minder zijn dan 17 %.

Begin- en randvoorwaarden

Bij de ATWS-analyses wordt het falen van de regelementen aangenomen, hetgeen wil zeggen dat de regelementen noch door aansturing via de regeling noch door RESA-signalen in beweging komen. Dit betekent, dat bij het bereiken van een grenswaarde die tot een RESA-signaal leidt, de regelementen niet vallen. Verder wordt geen ander falen verondersteld.

Omdat in het geval van ATWS de vermogensreductie in het begin alleen door terugkoppelingen op de reactiviteit veroorzaakt wordt, is de kerntoestand bij cyclusbegin ongunstig voor het verloop van het ongeval; dit, omdat de hoofdkoelmiddeltemperatuurscoëfficiënt door de afnemende concentratie geboreerd water aan het cycluseinde steeds sterker negatief wordt.

Bij het begin van het ongeval is de installatie op vol vermogen.

Enkelvoudig falen wordt niet bij ATWS verondersteld. De reactorvermogensbegrenzing bij het uitvallen van de hoofdvoedingswatertoevoer wordt echter genegeerd.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen loopt het voedingswaterdebiet snel naar nul terug, waardoor het niveau in beide stoomgeneratoren daalt. Als gevolg van de uitval van de hoofdvoedingswatertoevoer wordt de turbine afgeschakeld, wordt de turbine-omloopleiding geopend en starten de noodvoedingswaterpompen.

De turbineafschakeling heeft een verhoging van de hoofdstoomdruk tot gevolg, en daarmee een stijging van de temperatuur in de stoomgeneratoren (secundairzijdig).

Deze temperatuurstijging veroorzaakt een verhoging van de primairzijdige uittredetemperatuur van de stoomgenerator, en daarmee een volumevergroting van het hoofdkoelmiddel in het primair systeem. Door de volumevergroting stijgt het niveau in de drukhouder, alsmede de hoofdkoelmiddeldruk. De temperatuurverhoging in het primair systeem heeft, door de negatieve temperatuurscoëfficiënt, een afname van de reactiviteit en daarmee van het reactorvermogen tot gevolg.

Ondanks de inschakeling van de drukhoudersproeiers en de beperking van het reactorvermogen stijgt de hoofdkoelmiddeldruk totdat de bijbehorende RESA-grenswaarde bereikt wordt. Bij het bereiken van de RESA-grenswaarde volgt geen inworp van regelementen (ATWS). Daarna spreekt het ATWS-sigitaal aan waardoor de hoofdkoelmiddelpompen worden afgeschakeld en twee volumeregelpompen (TA) en 2 pompen voor geboreerd water (TB) worden gestart.

De hoofdstoomdruk wordt door de regeling van de turbine-omloop op de gewenste waarde na RESA geregeld. Dit veroorzaakt een verhoogde secundairzijdige temperatuur in de stoomgeneratoren en daarmee ook een primairzijdige temperatuurverhoging. Ook de afschakeling van de hoofdkoelmiddelpompen veroorzaakt een verhoging van de hoofdkoelmiddeltemperatuur. De verhoging van de hoofdkoelmiddeltemperatuur is gekoppeld aan een afname van de reactiviteit wat een snelle afname van het reactorvermogen tot gevolg heeft.

De drukstijging van het hoofdkoelmiddel als gevolg van de temperatuurstijging wordt begrensd door het aanspreken van de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder. Door de grote temperatuurstijging en de daarmee corresponderende volumevergroting stijgt het niveau in de drukhouder zo sterk, dat de drukhouder bijna volledig met water wordt gevuld.

De hoofdkoelmiddeldruk wordt door de drukbeveiligingstoestellen begrensd, waarbij van tijd tot tijd ook water afgeblazen wordt. De eerste en tweede drukbeveiligingstoestellen spreken aan, de derde niet.

Tussen circa 150 en 200 seconden treedt er enige stoomvorming in de kern op. Dit veroorzaakt enige schommelingen in de reactiviteit, het reactorvermogen en de hoofdkoelmiddeldruk, – temperatuur en -debiet.

Het reactorvermogen is vervolgens zover gedaald, dat het reactor- en het stoomgeneratorvermogen vrijwel gelijk zijn. De warmteafvoer wordt door het met het noodvoedingswatersysteem (RL) toegevoerde water gegarandeerd.

Vervolgens wordt de langdurige onderkritikaliteit gerealiseerd door toevoeging van geboreerd water vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

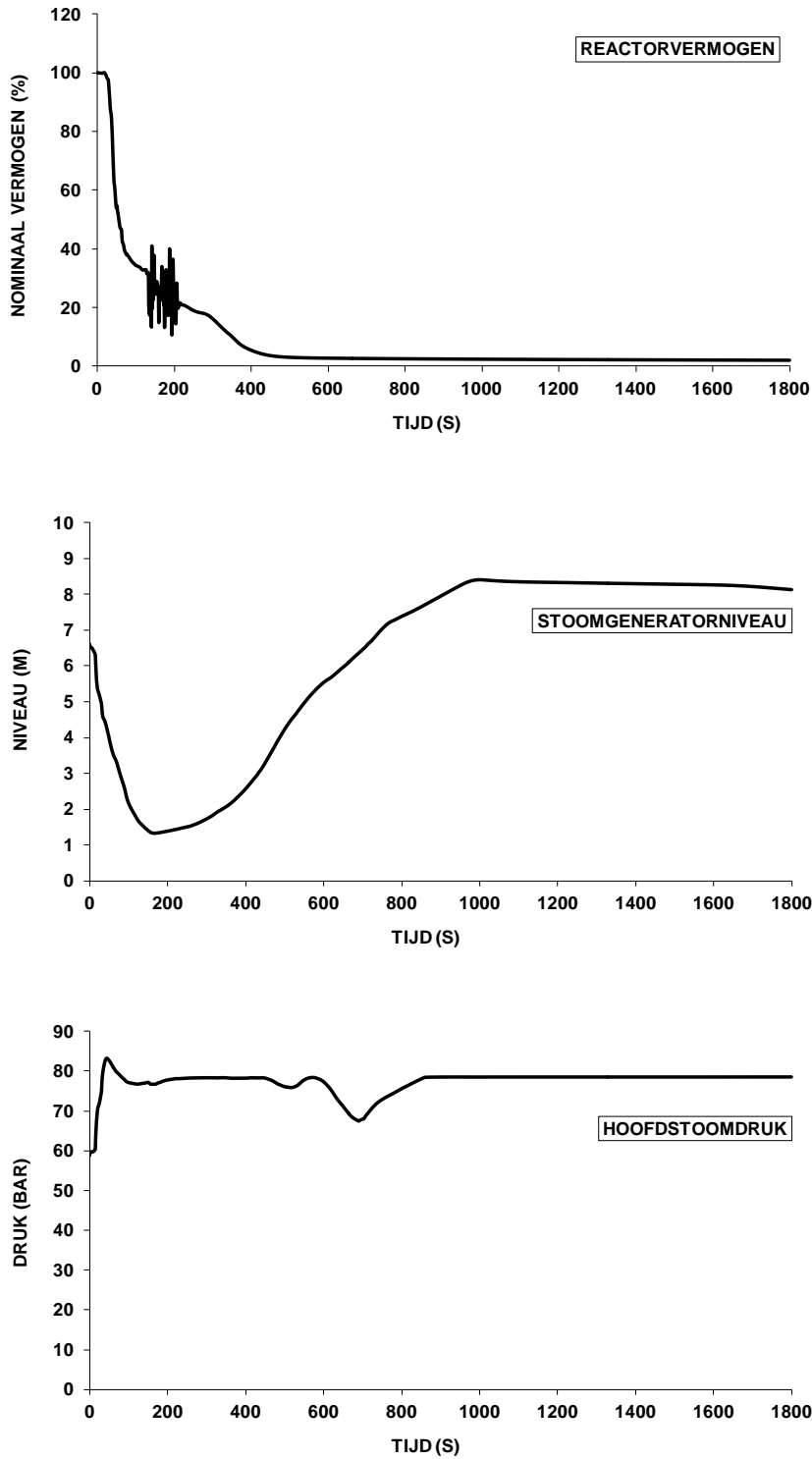
Middels een heetkanaalanalyse zijn de maximale temperatuur en oxidatie van de splijtstofomhulling bepaald. Deze bedragen respectievelijk circa 1111°C en 2%.

Resultaat

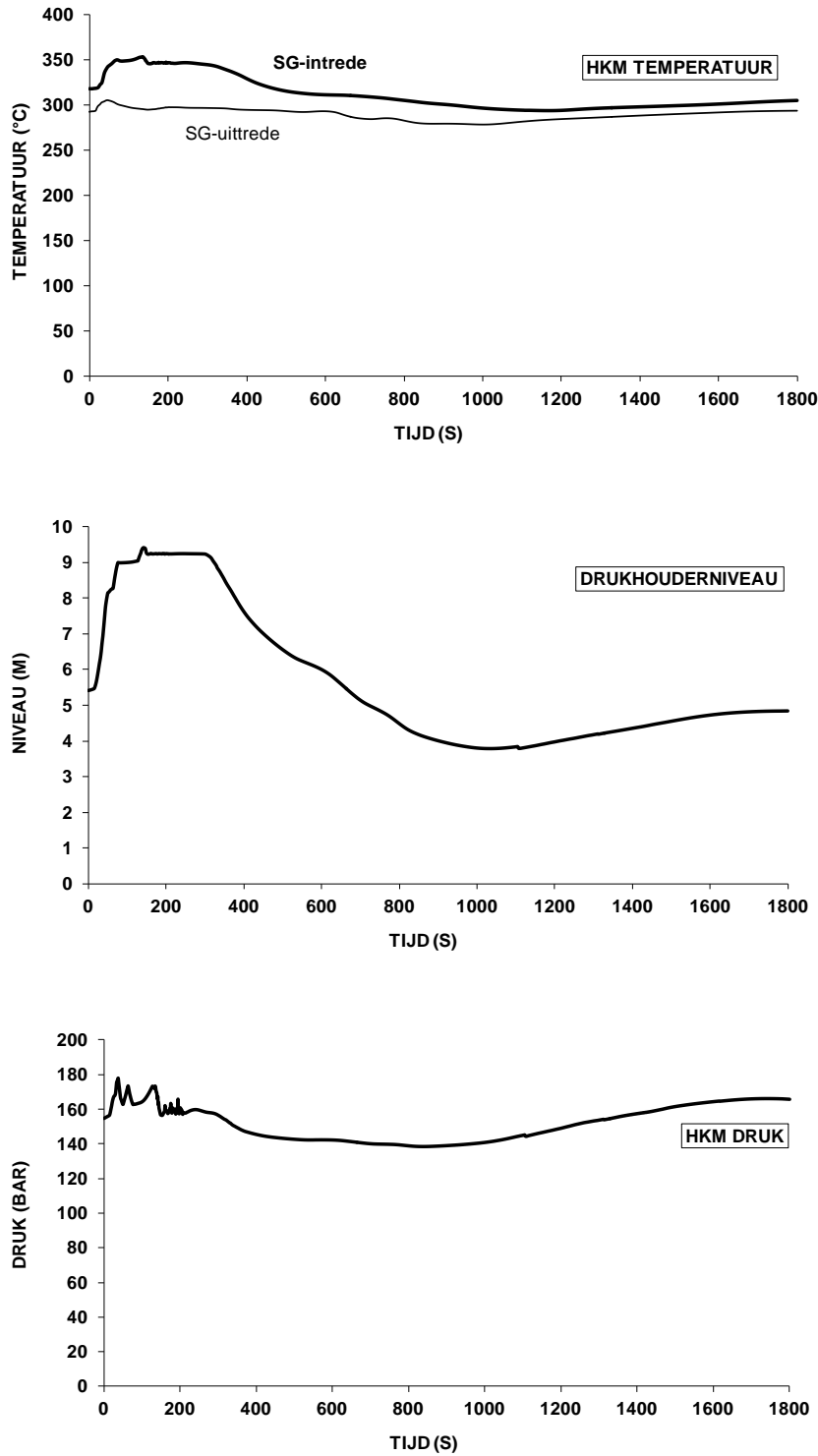
De analyse toont aan, dat de maximaal bereikte waarden voor de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk lager zijn dan de bij dit ongeval maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk, circa 230 bar respectievelijk circa 118 bar). De warmteafvoer is gegarandeerd door de toegevoerde hoeveelheid noodvoedingswater, en langdurige onderkritikaliteit is gerealiseerd door toevoeging van geboreerd water vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

De grenswaarden voor de maximale temperatuur en de maximale plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling worden niet overschreden.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.4.4.18/1 Bedrijfstransienten waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (PIE 10.5)



Figuur 7.4.4.18/2 Bedrijfstransienten waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (PIE 10.5)

7.5 RADIOLOGISCHE ANALYSES

7.5.1 Definities

Bronterm

Beschrijving van de radionuclidesamenstelling en de hoeveelheden radioactieve stoffen die bij een ongeval in de atmosfeer vrijkomen. De bronterm beschrijft ook de wijze waarop de lozing plaatsvindt, de warmte-inhoud, de grootte, de duur van de lozing en het aanvangstijdstip (na afschakeling van de reactor).

Dosiscoëfficiënt

De coëfficiënt waarmee de effectieve dosis of de equivalente orgaan- of weefseldosis ten gevolge van inname van radionucliden door het lichaam wordt berekend. Deze inname kan zowel door inhalatie als door ingestie (via voedsel en dranken) geschieden.

Effectieve dosis

Gewogen som van equivalente orgaandoses in organen en weefsels door inwendige en uitwendige besmetting waarmee het risico van een ongelijkmatige blootstelling van het lichaam kan worden vergeleken met dat van een homogene blootstelling van het gehele lichaam. De eenheid van de effectieve dosis is Sievert (Sv).

Ingestiedosis

Ontvangen dosis als gevolg van de opname van radioactieve stoffen via de spijsverteringsorganen (mond, slokdarm, maagdarmkanaal).

Inhalatiedosis

Ontvangen dosis als gevolg van de opname van radioactieve stoffen via de luchtwegen.

Jodiumprofylaxe

Maatregel bij een lozing van radioactief jodium, waardoor men de opname van radioactief jodium in de schildklier grotendeels verhindert en daardoor de mogelijke dosis in dit orgaan kan verminderen. De opname wordt sterk verminderd door ca. 100 mg stabiel jodium toe te dienen voor of vlak na het begin van de inname van radioactief jodium.

Massieke activiteit

De hoeveelheid activiteit per gewichtshoeveelheid.

Spiking-effect

Verhoogde vrijzetting van nucliden vanaf de splijtstofelementen in het primair koelmiddel na afschakeling van de reactor.

7.5.2 Inleiding

In paragraaf 7.5 worden de radiologische analyses zoals uitgevoerd voor de relevante representatieve begingebourtenissen vermeld in paragraaf 7.3 behandeld.

Bij de radiologische analyses staat de berekening van de doses die de bevolking in de omgeving van de centrale ontvangt als gevolg van de lozingen naar de omgeving centraal. Hierbij worden ook de doses door externe bestraling vanuit het reactorgebouw, waarin zich na het ongeval luchtgedragen radioactieve stoffen bevinden, beschouwd (directe straling).

De berekende doses worden getoetst aan de dosiscriteria gesteld in artikel 18 van het Besluit Kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. De dosiscriteria betreffen de maxima van de effectieve dosis E_{eff} , een maat voor de stochastische effecten van straling, waarbij de dosiscriteria afhangen van de frequentie van het optreden van het ongeval, F , en de blootgestelde groep, respectievelijk personen jonger dan 16 jaar en personen van 16 jaar en ouder. Met stochastische effecten worden bedoeld effecten waarvan de kans van optreden afhankelijk is van de ontvangen dosis, bijvoorbeeld ziekten zoals kanker die zich vele jaren na de bestraling kunnen openbaren.

Naast het criterium betreffende stochastische effecten van straling, geldt een criterium ten aanzien van deterministische effecten van straling. Deterministische effecten betreffen een zodanige beschadiging van organen, dat deze niet of verminderd functioneren. Deze effecten treden op binnen enkele uren of weken, maar worden alleen waargenomen indien een zekere hoge drempelwaarde wordt overschreden. De schildklier heeft ten aanzien van deterministische effecten de laagste drempeldosis. Voor de beoordeling van de berekende waarde is een criterium van 500 mSv aan de schildklierdosis (H_{th}) gesteld.

In tabel 7.5.2/1 zijn de dosiscriteria voor de groep volwassenen en kinderen als functie van de gebeurtenisfrequenties samengevat.

Tabel 7.5.2/1 Dosiscriteria voor ontwerpongevallen

Gebeurtenisfrequentie F (per reactorjaar)	Maximaal toegestane effectieve dosis E_{eff} (mSv)	
	Volwassenen (vanaf 16 jaar)	Kinderen (tot 16 jaar)
$F \geq 10^{-1}$	0,1	0,04
$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$	1	0,4
$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$	10	4
$10^{-4} > F \geq 10^{-6}$	100	40
	Maximaal toegestane schildklierdosis H_{th} (mSv)	
Alle ontwerpongevallen	500	500

Bij de afzonderlijke analyses zijn de gebeurtenisfrequentie en de bijbehorende dosiscriteria vermeld.

Bij ongevalslozingen, waaraan over het algemeen alle leeftijdscategorieën van de omwonende bevolking worden blootgesteld, is het risico voor de groep van eenjarige kinderen groter dan het risico voor andere leden van de bevolking. Daarom worden voor alle begingebourtenissen de maximale dosis voor eenjarige kinderen als representatief (conservatief) voor de groep van personen tot 16 jaar genomen.

7.5.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden.

De berekeningen zijn uitgevoerd volgens de Nederlandse "Richtlijn Niveau-3 PSA".

In deze paragraaf worden de algemene uitgangspunten en randvoorwaarden met betrekking tot brontermen en effectieve dosis behandeld. Specifieke uitgangspunten of parameters gerelateerd aan het gebruik van het rekenprogramma COSYMA zijn in paragraaf 7.5.4 opgenomen.

7.5.3.1 Brontermen

Voor de berekening van de radiologische gevolgen is in de eerste plaats de vaststelling van de zogenaamde bronterm nodig. De bronterm geeft voor ieder nuclide (of groep van nucliden) de geloosde activiteit naar tijd en plaats, alsmede de energie-inhoud van de lozing. Vervolgens kunnen de gevolgen van de lozing van een bronterm worden geanalyseerd met een rekenprogramma (zie paragraaf 7.5.4) waarin achtereenvolgens verspreidingsberekeningen en dosisberekeningen worden uitgevoerd, rekening houdend met verschillende blootstellingswegen waarlangs personen aan ioniserende straling worden blootgesteld. Het betreft inhalatie van lucht, directe straling van radioactieve stoffen in de lucht, directe straling van radioactieve stoffen op de grond en ingestie van besmet voedsel.

Voor de bepaling van de brontermen gelden de volgende algemene uitgangspunten:

- de Duitse richtlijnen met betrekking tot de vaststelling van brontermen bij ontwerpongevallen zijn gehanteerd waarbij rekening is gehouden met KCB-specifieke randvoorwaarden;
- voor de ontwerpongevallen waarbij de Duitse richtlijnen leiden tot kleinere brontermen dan waarmee in 1972 bij het ontwerp rekening is gehouden, zijn de ontwerpactiviteiten van 1972 gehanteerd (PIE 7.2.3 en 8.4.1);
- er wordt vanuit gegaan dat ingrijpen van de operator niet eerder plaatsvindt dan 30 minuten na de aanvang van het ongeval (zie paragraaf 5.1);
- voor de kerninventaris wordt uitgegaan van de totale activiteitsinventaris van een kern aan het einde van een cyclus zoals weergegeven in tabel 7.5.3.1/1. Deze kerninventaris is berekend met het programma ORIGEN. Daarbij is uitgegaan van een evenwichtskern bij de inzet van ENU-, c-ERU respectievelijk 40% MOX-elementen. Voor de dosisberekeningen zijn de nucliden geselecteerd die meer dan 99% van de doses en risico's veroorzaken;
- voor de massieke activiteit in het primair koelmiddel zijn de ontwerpwaarden voor de zogenaamde Duitse "Konvoi-Anlage" gebruikt zoals weergegeven in tabel 7.5.3.1/2. Hierbij zijn de ontwerpwaarden geschaald naar het vermogen van de KCB. Vergelijking met de praktijkwaarden van de KCB laat zien dat deze geschaalde ontwerpwaarden ordes van grootte hoger zijn dan de gemiddelde gemeten KCB-waarden. Een uitzondering vormen de corrosieproducten die minder verschillen of zelfs een enkele overschrijding (bijvoorbeeld ^{60}Co) van de in tabel 7.5.3.1/2 gegeven waarden vertonen. Gelet op de geringe invloed op de uiteindelijke dosis is tabel 7.5.3.1/2 op dit punt niet gecorrigeerd maar blijft desondanks een conservatief uitgangspunt;
- voor de filterrendementen voor het bedrijfsfilter (TL02) en het ongevalsfilter (TL070) zijn de waarden zoals opgenomen in tabel 7.5.3.1/3 gebruikt;
- correctie voor radioactief verval vindt alleen plaats bij de gevolgenanalyse.

Tabel 7.5.3.1/1 Activiteit van de kerninventaris aan het einde van de cyclus en na 0 dagen verval (Bq)

Nuclide	Activiteit (Bq)		
	ENU	c-ERU	40% MOX
^{83m} Kr	1,55 . 10 ¹⁷	1,57 . 10 ¹⁷	1,34 . 10 ¹⁷
^{85m} Kr	3,74 . 10 ¹⁷	3,82 . 10 ¹⁷	3,11 . 10 ¹⁷
⁸⁵ Kr	1,81 . 10 ¹⁶	1,95 . 10 ¹⁶	1,46 . 10 ¹⁶
⁸⁷ Kr	6,41 . 10 ¹⁷	6,54 . 10 ¹⁷	5,25 . 10 ¹⁷
⁸⁸ Kr	8,70 . 10 ¹⁷	8,88 . 10 ¹⁷	7,08 . 10 ¹⁷
⁸⁶ Rb	2,68 . 10 ¹⁵	2,84 . 10 ¹⁵	2,14 . 10 ¹⁵
⁸⁸ Rb	8,95 . 10 ¹⁷	9,12 . 10 ¹⁷	7,30 . 10 ¹⁷
⁸⁹ Rb	1,22 . 10 ¹⁸	1,25 . 10 ¹⁸	9,85 . 10 ¹⁷
⁸⁹ Sr	1,29 . 10 ¹⁸	1,32 . 10 ¹⁸	1,03 . 10 ¹⁸
⁹⁰ Sr	1,33 . 10 ¹⁷	1,44 . 10 ¹⁷	1,04 . 10 ¹⁷
⁹¹ Sr	1,58 . 10 ¹⁸	1,62 . 10 ¹⁸	1,31 . 10 ¹⁸
⁹² Sr	1,68 . 10 ¹⁸	1,71 . 10 ¹⁸	1,44 . 10 ¹⁸
⁹³ Sr	1,86 . 10 ¹⁸	1,88 . 10 ¹⁸	1,65 . 10 ¹⁸
^{90m} Y	1,12 . 10 ¹⁴	1,12 . 10 ¹⁴	8,39 . 10 ¹³
⁹⁰ Y	1,39 . 10 ¹⁷	1,50 . 10 ¹⁷	1,08 . 10 ¹⁷
^{91m} Y	8,10 . 10 ¹⁷	8,25 . 10 ¹⁷	6,72 . 10 ¹⁷
⁹¹ Y	1,70 . 10 ¹⁸	1,73 . 10 ¹⁸	1,38 . 10 ¹⁸
⁹² Y	1,69 . 10 ¹⁸	1,71 . 10 ¹⁸	1,45 . 10 ¹⁸
⁹³ Y	1,89 . 10 ¹⁸	1,92 . 10 ¹⁸	1,69 . 10 ¹⁸
⁸⁹ Zr	7,68 . 10 ¹⁰	9,66 . 10 ¹⁰	6,54 . 10 ¹⁰
⁹³ Zr	3,06 . 10 ¹²	3,29 . 10 ¹²	2,67 . 10 ¹²
⁹⁵ Zr	2,27 . 10 ¹⁸	2,29 . 10 ¹⁸	2,07 . 10 ¹⁸
⁹⁷ Zr	2,12 . 10 ¹⁸	2,14 . 10 ¹⁸	2,04 . 10 ¹⁸
^{93m} Nb	2,23 . 10 ¹¹	2,53 . 10 ¹¹	2,03 . 10 ¹¹
^{94m} Nb	1,95 . 10 ¹²	1,97 . 10 ¹²	2,01 . 10 ¹²
⁹⁴ Nb	3,71 . 10 ⁸	3,98 . 10 ⁸	4,14 . 10 ⁸
^{95m} Nb	2,52 . 10 ¹⁶	2,54 . 10 ¹⁶	2,30 . 10 ¹⁶
⁹⁵ Nb	2,29 . 10 ¹⁸	2,32 . 10 ¹⁸	2,08 . 10 ¹⁸
⁹⁷ Nb	2,13 . 10 ¹⁸	2,15 . 10 ¹⁸	2,05 . 10 ¹⁸
⁹⁹ Mo	2,40 . 10 ¹⁸	2,41 . 10 ¹⁸	2,37 . 10 ¹⁸
¹⁰¹ Mo	2,22 . 10 ¹⁸	2,22 . 10 ¹⁸	2,27 . 10 ¹⁸
^{99m} Tc	2,10 . 10 ¹⁸	2,11 . 10 ¹⁸	2,08 . 10 ¹⁸
⁹⁹ Tc	2,30 . 10 ¹³	2,48 . 10 ¹³	2,27 . 10 ¹³
¹⁰¹ Tc	2,22 . 10 ¹⁸	2,22 . 10 ¹⁸	2,28 . 10 ¹⁸
¹⁰³ Ru	1,92 . 10 ¹⁸	1,90 . 10 ¹⁸	2,19 . 10 ¹⁸
¹⁰⁵ Ru	1,32 . 10 ¹⁸	1,29 . 10 ¹⁸	1,65 . 10 ¹⁸
¹⁰⁶ Ru	6,88 . 10 ¹⁷	6,86 . 10 ¹⁷	1,00 . 10 ¹⁸
^{103m} Rh	1,92 . 10 ¹⁸	1,90 . 10 ¹⁸	2,18 . 10 ¹⁸
¹⁰⁵ Rh	1,25 . 10 ¹⁸	1,23 . 10 ¹⁸	1,59 . 10 ¹⁸
^{108m} Ag	2,81 . 10 ⁹	3,20 . 10 ⁹	6,52 . 10 ⁹
^{110m} Ag	4,70 . 10 ¹⁵	4,36 . 10 ¹⁵	8,10 . 10 ¹⁵
¹¹⁰ Ag	1,53 . 10 ¹⁷	1,39 . 10 ¹⁷	2,34 . 10 ¹⁷
¹¹¹ Ag	7,00 . 10 ¹⁶	6,81 . 10 ¹⁶	9,59 . 10 ¹⁶
¹²⁴ Sb	1,25 . 10 ¹⁵	1,27 . 10 ¹⁵	1,71 . 10 ¹⁵
¹²⁵ Sb	1,97 . 10 ¹⁶	2,01 . 10 ¹⁶	2,90 . 10 ¹⁶
¹²⁶ Sb	9,95 . 10 ¹⁴	9,76 . 10 ¹⁴	1,23 . 10 ¹⁵
¹²⁷ Sb	1,14 . 10 ¹⁷	1,12 . 10 ¹⁷	1,41 . 10 ¹⁷
^{128L} Sb	1,70 . 10 ¹⁶	1,67 . 10 ¹⁶	1,97 . 10 ¹⁶

Nuclide	Activiteit (Bq)		
	ENU	c-ERU	40% MOX
¹²⁹ Sb	3,66 .10 ¹⁷	3,64 .10 ¹⁷	4,01 .10 ¹⁷
^{130L} Sb	4,45 .10 ¹⁷	4,46 .10 ¹⁷	4,54 .10 ¹⁷
¹³¹ Sb	1,06 .10 ¹⁸	1,06 .10 ¹⁸	1,07 .10 ¹⁸
^{125m} Te	4,17 .10 ¹⁵	4,27 .10 ¹⁵	6,24 .10 ¹⁵
^{127m} Te	8,74 .10 ¹⁵	9,06 .10 ¹⁵	1,37 .10 ¹⁶
¹²⁷ Te	1,02 .10 ¹⁷	1,01 .10 ¹⁷	1,29 .10 ¹⁷
^{129m} Te	6,67 .10 ¹⁶	6,63 .10 ¹⁶	7,28 .10 ¹⁶
¹²⁹ Te	3,93 .10 ¹⁷	3,91 .10 ¹⁷	4,31 .10 ¹⁷
^{131m} Te	1,83 .10 ¹⁷	1,82 .10 ¹⁷	1,95 .10 ¹⁷
¹³¹ Te	1,13 .10 ¹⁸	1,13 .10 ¹⁸	1,16 .10 ¹⁸
¹³² Te	1,78 .10 ¹⁸	1,78 .10 ¹⁸	1,80 .10 ¹⁸
^{133m} Te	1,33 .10 ¹⁸	1,34 .10 ¹⁸	1,32 .10 ¹⁸
¹³³ Te	1,28 .10 ¹⁸	1,28 .10 ¹⁸	1,25 .10 ¹⁸
¹³⁴ Te	2,28 .10 ¹⁸	2,30 .10 ¹⁸	2,20 .10 ¹⁸
¹²⁹ I	5,19 .10 ¹⁰	5,53 .10 ¹⁰	6,01 .10 ¹⁰
¹³⁰ I	3,82 .10 ¹⁶	3,76 .10 ¹⁶	3,50 .10 ¹⁶
¹³¹ I	1,28 .10 ¹⁸	1,28 .10 ¹⁸	1,31 .10 ¹⁸
¹³² I	1,81 .10 ¹⁸	1,81 .10 ¹⁸	1,83 .10 ¹⁸
¹³³ I	2,57 .10 ¹⁸	2,58 .10 ¹⁸	2,57 .10 ¹⁸
¹³⁴ I	2,79 .10 ¹⁸	2,81 .10 ¹⁸	2,77 .10 ¹⁸
¹³⁵ I	2,46 .10 ¹⁸	2,47 .10 ¹⁸	2,46 .10 ¹⁸
^{131m} Xe	1,38 .10 ¹⁶	1,38 .10 ¹⁶	1,42 .10 ¹⁶
^{133m} Xe	7,77 .10 ¹⁶	7,80 .10 ¹⁶	7,81 .10 ¹⁶
¹³³ Xe	2,60 .10 ¹⁸	2,60 .10 ¹⁸	2,60 .10 ¹⁸
^{135m} Xe	5,36 .10 ¹⁷	5,36 .10 ¹⁷	5,56 .10 ¹⁷
¹³⁵ Xe	5,98 .10 ¹⁷	6,48 .10 ¹⁷	8,70 .10 ¹⁷
¹³⁸ Xe	2,26 .10 ¹⁸	2,28 .10 ¹⁸	2,19 .10 ¹⁸
^{134m} Cs	6,39 .10 ¹⁶	6,41 .10 ¹⁶	5,87 .10 ¹⁶
¹³⁴ Cs	2,60 .10 ¹⁷	2,73 .10 ¹⁷	2,47 .10 ¹⁷
¹³⁵ Cs	6,46 .10 ¹¹	7,43 .10 ¹¹	9,05 .10 ¹¹
¹³⁶ Cs	6,06 .10 ¹⁶	6,54 .10 ¹⁶	7,13 .10 ¹⁶
¹³⁷ Cs	1,83 .10 ¹⁷	1,95 .10 ¹⁷	1,82 .10 ¹⁷
¹³⁸ Cs	2,47 .10 ¹⁸	2,48 .10 ¹⁸	2,41 .10 ¹⁸
¹³⁹ Ba	2,30 .10 ¹⁸	2,32 .10 ¹⁸	2,21 .10 ¹⁸
¹⁴⁰ Ba	2,26 .10 ¹⁸	2,27 .10 ¹⁸	2,18 .10 ¹⁸
¹⁴⁰ La	2,34 .10 ¹⁸	2,35 .10 ¹⁸	2,25 .10 ¹⁸
¹⁴¹ La	2,08 .10 ¹⁸	2,09 .10 ¹⁸	2,01 .10 ¹⁸
¹⁴² La	2,03 .10 ¹⁸	2,04 .10 ¹⁸	1,98 .10 ¹⁸
¹⁴¹ Ce	2,16 .10 ¹⁸	2,17 .10 ¹⁸	2,08 .10 ¹⁸
¹⁴³ Ce	2,00 .10 ¹⁸	2,02 .10 ¹⁸	1,88 .10 ¹⁸
¹⁴⁴ Ce	1,73 .10 ¹⁸	1,78 .10 ¹⁸	1,55 .10 ¹⁸
¹⁴³ Pr	2,01 .10 ¹⁸	2,02 .10 ¹⁸	1,88 .10 ¹⁸
¹⁴⁵ Pr	1,36 .10 ¹⁸	1,37 .10 ¹⁸	1,30 .10 ¹⁸
¹⁴⁷ Nd	8,48 .10 ¹⁷	8,53 .10 ¹⁷	8,37 .10 ¹⁷
¹⁴⁷ Pm	2,79 .10 ¹⁷	3,15 .10 ¹⁷	2,76 .10 ¹⁷
^{148m} Pm	4,58 .10 ¹⁶	4,52 .10 ¹⁶	5,41 .10 ¹⁶
¹⁴⁸ Pm	2,23 .10 ¹⁷	2,09 .10 ¹⁷	2,07 .10 ¹⁷
¹⁴⁹ Pm	6,79 .10 ¹⁷	6,62 .10 ¹⁷	6,60 .10 ¹⁷
¹⁵¹ Pm	2,40 .10 ¹⁷	2,39 .10 ¹⁷	2,66 .10 ¹⁷
^{152m} Eu	1,22 .10 ¹⁴	1,35 .10 ¹⁴	2,22 .10 ¹⁴

Nuclide	Activiteit (Bq)		
	ENU	c-ERU	40% MOX
¹⁵² Eu	$1,63 \cdot 10^{12}$	$2,02 \cdot 10^{12}$	$7,11 \cdot 10^{12}$
¹⁵⁴ Eu	$1,43 \cdot 10^{16}$	$1,52 \cdot 10^{16}$	$1,68 \cdot 10^{16}$
¹⁵⁵ Eu	$6,54 \cdot 10^{15}$	$6,98 \cdot 10^{15}$	$9,72 \cdot 10^{15}$
¹⁵⁶ Eu	$2,90 \cdot 10^{17}$	$2,85 \cdot 10^{17}$	$3,02 \cdot 10^{17}$
²¹⁰ Po	$1,00 \cdot 10^3$	$1,23 \cdot 10^4$	$7,65 \cdot 10^2$
²²⁶ Ra	$3,52 \cdot 10^4$	$2,06 \cdot 10^5$	$2,42 \cdot 10^4$
²³⁴ U	$2,06 \cdot 10^{12}$	$1,09 \cdot 10^{13}$	$1,38 \cdot 10^{12}$
²³⁵ U	$3,95 \cdot 10^{10}$	$4,52 \cdot 10^{10}$	$2,50 \cdot 10^{10}$
²³⁸ U	$4,50 \cdot 10^{11}$	$4,39 \cdot 10^{11}$	$4,40 \cdot 10^{11}$
²³⁷ Np	$4,27 \cdot 10^{11}$	$1,32 \cdot 10^{12}$	$3,10 \cdot 10^{11}$
²³⁸ Np	$4,33 \cdot 10^{17}$	$1,24 \cdot 10^{18}$	$3,00 \cdot 10^{17}$
²³⁹ Np	$2,33 \cdot 10^{19}$	$2,20 \cdot 10^{19}$	$2,12 \cdot 10^{19}$
²³⁶ Pu	$3,32 \cdot 10^{11}$	$1,19 \cdot 10^{12}$	$2,91 \cdot 10^{11}$
²³⁸ Pu	$3,74 \cdot 10^{15}$	$1,21 \cdot 10^{16}$	$2,32 \cdot 10^{16}$
²³⁹ Pu	$4,53 \cdot 10^{14}$	$4,76 \cdot 10^{14}$	$1,16 \cdot 10^{15}$
²⁴⁰ Pu	$6,02 \cdot 10^{14}$	$6,11 \cdot 10^{14}$	$2,87 \cdot 10^{15}$
²⁴¹ Pu	$1,46 \cdot 10^{17}$	$1,52 \cdot 10^{17}$	$5,96 \cdot 10^{17}$
²⁴² Pu	$2,71 \cdot 10^{12}$	$2,69 \cdot 10^{12}$	$1,88 \cdot 10^{13}$
²⁴¹ Am	$1,67 \cdot 10^{14}$	$1,86 \cdot 10^{14}$	$2,35 \cdot 10^{15}$
^{242m} Am	$5,76 \cdot 10^{12}$	$6,49 \cdot 10^{12}$	$1,16 \cdot 10^{14}$
²⁴² Am	$9,14 \cdot 10^{16}$	$9,35 \cdot 10^{16}$	$5,52 \cdot 10^{17}$
²⁴³ Am	$2,71 \cdot 10^{13}$	$2,76 \cdot 10^{13}$	$1,71 \cdot 10^{14}$
²⁴² Cm	$5,49 \cdot 10^{16}$	$5,69 \cdot 10^{16}$	$4,13 \cdot 10^{17}$
²⁴³ Cm	$2,04 \cdot 10^{13}$	$2,15 \cdot 10^{13}$	$2,15 \cdot 10^{14}$
²⁴⁴ Cm	$4,14 \cdot 10^{15}$	$4,29 \cdot 10^{15}$	$3,10 \cdot 10^{16}$
²⁴⁵ Cm	$3,68 \cdot 10^{11}$	$4,06 \cdot 10^{11}$	$4,54 \cdot 10^{12}$
²⁴⁶ Cm	$1,41 \cdot 10^{11}$	$1,52 \cdot 10^{11}$	$1,15 \cdot 10^{12}$
²⁴⁷ Cm	$4,93 \cdot 10^5$	$5,47 \cdot 10^5$	$5,22 \cdot 10^6$
²⁴⁸ Cm	$1,98 \cdot 10^6$	$2,27 \cdot 10^6$	$1,98 \cdot 10^7$

Tabel 7.5.3.1/2 Massieke activiteiten van het primair koelmiddel als functie van de reinigingsgraad ¹

	ENU		Vrijzet ³ (Bq/uur)	c-ERU		Vrijzet (Bq/uur)	40% MOX		Vrijzet (Bq/uur)
	Reinigingsgraad ² (Bq/kg)			Reinigingsgraad			Reinigingsgraad		
	R=0	R=0,1		R=0	R=0,1		R=0	R=0,1	
Edelgassen									
^{85m} Kr	7,49.10 ⁷	4,60.10 ⁷	1,30.10 ¹²	7,70.10 ⁷	4,70.10 ⁷	1,30.10 ¹²	6,20.10 ⁷	3,80.10 ⁷	1,10.10 ¹²
⁸⁵ Kr	3,82.10 ⁶	1,99.10 ⁵	2,19.10 ⁹	4,10.10 ⁶	2,10.10 ⁵	2,40.10 ⁹	3,10.10 ⁶	1,60.10 ⁵	1,80.10 ⁹
⁸⁷ Kr	5,57.10 ⁷	4,87.10 ⁷	3,42.10 ¹²	5,70.10 ⁷	5,00.10 ⁷	3,50.10 ¹²	4,60.10 ⁷	4,00.10 ⁷	2,80.10 ¹²
⁸⁸ Kr	1,12.10 ⁸	7,92.10 ⁷	3,02.10 ¹²	1,10.10 ⁸	8,10.10 ⁷	3,10.10 ¹²	9,10.10 ⁷	6,40.10 ⁷	2,50.10 ¹²
^{131m} Xe	5,19.10 ⁶	3,92.10 ⁵	4,37.10 ⁹	5,20.10 ⁶	3,90.10 ⁵	4,40.10 ⁹	5,30.10 ⁶	4,00.10 ⁵	4,50.10 ⁹
^{133m} Xe	3,60.10 ⁶	5,87.10 ⁵	7,22.10 ⁹	3,60.10 ⁶	5,90.10 ⁵	7,20.10 ⁹	3,60.10 ⁶	5,90.10 ⁵	7,30.10 ⁹
¹³³ Xe	7,05.10 ⁸	7,05.10 ⁷	8,18.10 ¹¹	7,10.10 ⁸	7,10.10 ⁷	8,20.10 ¹¹	7,10.10 ⁸	7,10.10 ⁷	8,20.10 ¹¹
^{135m} Xe	1,59.10 ⁷	1,53.10 ⁷	4,68.10 ¹²	1,60.10 ⁷	1,50.10 ⁷	4,70.10 ¹²	1,70.10 ⁷	1,60.10 ⁷	4,90.10 ¹²
¹³⁵ Xe	3,20.10 ⁸	1,68.10 ⁸	3,62.10 ¹²	3,50.10 ⁸	1,80.10 ⁸	3,90.10 ¹²	4,70.10 ⁸	2,40.10 ⁸	5,30.10 ¹²
¹³⁸ Xe	5,26.10 ⁷	4,88.10 ⁷	1,64.10 ¹³	5,30.10 ⁷	4,90.10 ⁷	1,70.10 ¹³	5,10.10 ⁷	4,70.10 ⁷	1,60.10 ¹³
Jodium									
¹²⁹ I		1,66.10 ⁰	1,77.10 ⁴		1,80.10 ⁰	1,90.10 ⁴		1,90.10 ⁶	2,10.10 ⁴
¹³¹ I		3,30.10 ⁷	3,72.10 ¹¹		3,30.10 ⁷	3,70.10 ¹¹		3,40.10 ⁷	3,80.10 ¹¹
¹³² I		1,12.10 ⁸	4,77.10 ¹²		1,10.10 ⁸	4,80.10 ¹²		1,10.10 ⁸	4,80.10 ¹²
¹³³ I		1,69.10 ⁸	2,46.10 ¹²		1,70.10 ⁸	2,50.10 ¹²		1,70.10 ⁸	2,50.10 ¹²
¹³⁴ I		1,27.10 ⁸	1,25.10 ¹²		1,30.10 ⁸	1,30.10 ¹³		1,30.10 ⁸	1,20.10 ¹³
¹³⁵ I		1,75.10 ⁸	3,99.10 ¹²		1,80.10 ⁸	4,00.10 ¹²		1,80.10 ⁸	4,00.10 ¹²
Alkali-metalen									
⁸⁸ Rb	1,03.10 ⁸	6,99.10 ⁷		1,10.10 ⁸	7,10.10 ⁷		8,40.10 ⁷	5,70.10 ⁷	
¹³⁴ Cs		1,41.10 ⁵	2,66.10 ⁸		1,50.10 ⁵	2,80.10 ⁸		1,30.10 ⁵	2,50.10 ⁸
¹³⁷ Cs		4,93.10 ⁵	9,31.10 ⁸		5,30.10 ⁵	9,90.10 ⁸		4,90.10 ⁵	9,30.10 ⁸
¹³⁸ Cs	5,39.10 ⁷	5,01.10 ⁷		5,40.10 ⁷	5,00.10 ⁷		5,30.10 ⁷	4,90.10 ⁷	
⁹⁰ Sr		4,93.10 ³	5,11.10 ⁷		5,30.10 ³	5,50.10 ⁷		3,90.10 ³	4,00.10 ⁷
³ H	2,30.10 ⁷	2,30.10 ⁷	1,40.10 ⁹	2,30.10 ⁷	2,30.10 ⁷	1,40.10 ⁹	2,30.10 ⁷	2,30.10 ⁷	1,40.10 ⁹
Corrosieproducten									
⁵¹ Cr		7,40.10 ⁴			7,40.10 ⁴			7,40.10 ⁴	
⁵⁴ Mn		7,40.10 ³			7,40.10 ³			7,40.10 ³	
⁵⁹ Fe		7,40.10 ³			7,40.10 ³			7,40.10 ³	
⁵⁸ Co		7,40.10 ⁴			7,40.10 ⁴			7,40.10 ⁴	
⁶⁰ Co		2,20.10 ⁴			2,20.10 ⁴			2,20.10 ⁴	
⁹⁵ Zr		3,70.10 ³			3,70.10 ³			3,70.10 ³	
¹²⁴ Sb		3,70.10 ⁴			3,70.10 ⁴			3,70.10 ⁴	

¹ Enkele massieke activiteiten en vrijzettingsgraden zijn niet berekend, omdat deze in geen van de analyses nodig zijn.

² De reinigingsgraad is de fractie van het primair koelmiddel die per uur door middel van het hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) wordt gereinigd.

³ De vrijzettingsgraad is de activiteit die per uur uit de splijtstofelementen vrijkomt in het primair koelmiddel.

Tabel 7.5.3.1/3 Overzicht filterrendementen

Radioactieve stoffen	Filterrendement (%) per filter	
	TL020	TL070
edelgassen	0	0
organisch jodium	0	99
elementair jodium	0	99,9 PIE 7.2.2 en 7.2.3
		99,99 overige PIE's
aërosolen	99,9	99,9

7.5.3.2 Effectieve dosis

De effectieve dosis die een persoon oploopt wordt berekend op basis van een gewogen gemiddelde van alle orgaandoses. De berekeningen zoals beschreven in paragraaf 7.5.5 zijn uitgevoerd met stralings- en weefselweegfactoren uit ICRP60.

De berekende effectieve dosis is de volg dosis, die afhangt van de te verwachten blootstellingsperiode. Bij inhalatie en ingestie wordt blootstelling beschouwd totdat de stoffen uit het lichaam zijn verwijderd of vervallen. In het algemeen wordt hierbij uitgegaan van de verwachte levensduur van de persoon na inname. Bij volwassenen wordt hierbij uitgegaan van een periode van 50 jaar en bij kinderen van een periode van 70 jaar. Deze perioden worden ook gehanteerd voor de duur van de blootstelling aan de besmette bodem en van het eten van lokaal geproduceerde land- en tuinbouwproducten afkomstig van de besmette bodem.

Voor de berekening van de dosis door directe straling is ook uitgegaan van een blootstellingsperiode van 50 jaar bij volwassenen en 70 jaar bij kinderen, hetgeen een zeer conservatieve veronderstelling is, omdat het impliceert dat de in de veiligheidsomhulling zwevende aërosolen niet uitzakken en dat er geen reinigingsacties worden ondernomen.

Omdat de representatieve begingebourtenissen niet leiden tot emissies met een warmte-inhoud, dat wil zeggen de wolk met radioactieve stoffen ondervindt geen warmtestijging en de ventilatieschacht is relatief laag, wordt de maximale waarde van de dosis ten gevolge van deze ontwerpgevallen direct aan de dichtstbijzijnde terreingrens bereikt. Met andere woorden, de maximale dosis wordt bereikt op de locatie aan de terreingrens waar de afstand tot de ventilatieschacht het kleinst is. Deze afstand is conservatief op 350 meter gesteld. Ook de dosis door blootstelling aan externe straling vanuit de centrale is het grootst op de kortste afstand tot de centrale. Vanaf 350 m afstand worden de berekende doses aan de dosis criteria getoetst.

7.5.4 Rekenmodel

De berekeningen van de doses ten gevolge van lozingen zijn uitgevoerd met de Europese rekencode COSYMA. De doses zijn bepaald tot een afstand van 100 km rond de centrale. Deze afstand is toereikend om alle voor toetsing aan de wettelijke doses- en risicocriteria benodigde rekenresultaten te verkrijgen, omdat bij alle ongevallen de maximale waarde van de dosis nabij de centrale wordt bereikt (zie paragraaf 7.5.3).

De dosisberekeningen met behulp van COSYMA houden rekening met de volgende blootstellingswegen:

- externe bestraling vanuit de overtrekkende wolk van geëmitteerde radioactieve stoffen na een ongeval;
- externe bestraling ten gevolge van op de bodem neergeslagen radioactieve stoffen vanuit de overtrekkende wolk;
- inademing van radioactieve stoffen tijdens tijdelijk verblijf in de wolk;
- inademing van radioactieve stoffen, die opwarrelen vanaf de met deze radioactieve stoffen verontreinigde bodem (resuspensie);
- consumptie van met radioactieve stoffen verontreinigd voedsel. Dit betreft zowel direct verontreinigd voedsel, zoals bladgroente, als voedsel dat indirect werd verontreinigd, zoals melk van een koe die op een verontreinigd weiland graast.

7.5.4.1 Invoergegevens

In COSYMA zijn vrijwel alle parameters door de gebruiker te definiëren. Voor het merendeel zijn de standaardwaarden gebruikt die door de ontwikkelaar van deze code zijn aanbevolen. De keuze van de belangrijkste niet-standaardwaarden sluiten aan op de voorschriften van de PSA-3 richtlijn. Deze betreffen onder meer de keuze van verblijfsfactoren, de veronderstelde voedselconsumptie door de omwonenden van de centrale en de in beschouwing te nemen beschermende maatregelen, zoals uit de handel nemen van besmet voedsel of het niet consumeren van zelf geteelde groenten en fruit. De parameters die specifiek zijn voor de locatie van de centrale en de samenstelling van de radioactieve stoffen die bij ontwerpongevallen vrijkomen, worden hieronder beschreven. Waar de modellering in COSYMA van de richtlijn afwijkt, zijn steeds conservatieve keuzen gemaakt.

Geografische gegevens

De landkarakteristieken rond de EPZ-locatie in Zeeland zijn ingevoerd. Als centrum van de lozing is gekozen voor de ventilatieschacht van de kernenergiecentrale. De dosisberekeningen zijn uitgevoerd over een gebied vanaf 300 m tot 100 km afstand van de ventilatieschacht.

Weergegevens

De benodigde meteorologische gegevens bestaan uit windrichting, windsnelheid en neerslag en de mate van atmosferische turbulentie. Deze laatste grootte is van belang, omdat naarmate de turbulentie toeneemt, de vrijgezette radioactieve stoffen sneller verdunnen.

Voor de meteorologische gegevens is gebruik gemaakt van de gemeten uur-tot-uur gegevens van het KNMI voor het meteo-station Vlissingen over de jaren 1983/1984.

Tegenmaatregelen

De dosisberekeningen zijn uitgevoerd in de conservatieve veronderstelling dat vroegtijdige tegenmaatregelen om de gevolgen van het ongeval te verminderen, zoals schuilen, jodiumprofylaxe en evacuatie, niet worden genomen. Uitzondering vormt de berekening van de ingestiedosis,

waarbij verondersteld wordt dat er geen voedsel wordt geconsumeerd die besmet is boven de criteria.

De ingestiedosis is gebaseerd op het consumptiegedrag van extreem etende (eenjarige) kinderen en volwassenen. Bij het consumptiegedrag is rekening gehouden met een onderverdeling naar verse en verwerkte voedselproducten, met de daarbij behorende perioden van radioactief verval tussen oogst en consumptie, gemiddeld voor de zomer en winter.

In de berekeningen is aangenomen dat hetzelfde consumptiepatroon gedurende 70 jaar bij kinderen en 50 jaar bij volwassenen gehandhaafd blijft. Aangezien de dosis ten gevolge van besmette landbouwproducten voornamelijk het gevolg is van directe besmetting door het neerslaan op het gewas (en er in het merendeel van de brontermen sprake is van de grootste bijdrage door het relatief kortlevende ¹³¹I) heeft de aanname van extreem etende kinderen en volwassenen voor de ingestiedosis een conservatief karakter.

Dosisconversiefactoren

Voor de groep volwassenen zijn de in COSYMA geïmplementeerde standaard dosisconversiefactoren gebruikt. Voor de kritieke groep eenjarige kinderen zijn waar nodig aangepaste factoren gebruikt:

- voor externe straling van neergeslagen stoffen worden correctiefactoren gebruikt voor de kleinere zelfafscherming van het lichaam van een kind en voor de kleinere afstand tussen het lichaamscentrum en bodem;
- voor inhalatie van radioactieve stoffen en voor ingestie van verontreinigd voedsel zijn kindspecifieke conversiefactoren gebruikt of de standaard dosiscoëfficiënten die voor het volwassene-kind verschil zijn gecorrigeerd.

Selectie van nucliden

Niet alle in de kern aanwezige nucliden leveren een significante bijdrage aan de stralingsbelasting. Met het programma SOURCE (onderdeel van COSYMA) is een selectie gemaakt van die nucliden die samen minstens 85% van de dosis per blootstellingsweg veroorzaken. De overige nucliden zijn buiten beschouwing gelaten. De selectie is gemaakt voor de volgende blootstellingswegen:

- externe bestraling vanuit de overtrekkende wolk;
- externe bestraling ten gevolge van op de bodem neergeslagen radioactieve stoffen;
- inademing van radioactiviteit tijdens verblijf in de wolk;
- consumptie van met radioactieve stoffen besmet voedsel.

Ter compensatie zijn de met deze beperkte set nucliden bepaalde berekeningsresultaten (conservatief) door 0,85 gedeeld.

7.5.4.2 Berekeningswijze

Voor ontwerpongevallen wordt de 95ste percentiel van de dosisverdeling berekend, ook aangeduid als de 95-percentiel dosis.

Voor elk van de (in totaal 362) geïdentificeerde weersituaties, starttijden genoemd, wordt de verspreiding als functie van de afstand en richting berekend, in totaal in 72 sectoren. Voor het beschouwde ongeval valt de starttijd in de berekening samen met het moment van de hoogste emissie. Na elk uur wordt de weersconditie aangepast. De berekening loopt door totdat de lucht de grootste beschouwde afstand heeft bereikt (hier 100 km).

Per starttijd wordt in elke sector de dosis voor alle blootstellingswegen berekend. Sommatie van deze dosisbijdragen in een sector levert de totale dosis in die sector voor de betreffende starttijd. Per starttijd wordt vervolgens de maximale waarde van de dosis buiten de terreingrens (≥ 350 m) bepaald. Combinatie van de maximale dosis per starttijd met de kans van optreden (frequentie) van die starttijd levert de waarschijnlijkheidsverdeling van de maximale dosis voor de 362 starttijden. De 95-percentiel van deze waarschijnlijkheidsverdeling is de dosis die wordt vergeleken met de dosiscriteria.

7.5.5 Radiologische analyses voor representatieve begingebourtenissen

In de volgende paragrafen worden de radiologische analyses zoals uitgevoerd voor de relevante representatieve begingebourtenissen vermeld in paragraaf 7.3 behandeld. De analyses zijn uitgevoerd voor zowel ENU, c-ERU en MOX evenwichtskernen. In deze paragraaf worden enkele de afdekkende analyses beschreven. Dat wil zeggen die analyse voor de ENU, c-ERU of MOX evenwichtskern die resulteert in de hoogste dosis.

De dosisberekeningen zijn voor zowel volwassenen als voor eenjarige kinderen uitgevoerd. De berekende doses zijn getoetst aan de voor elke groep van toepassing zijnde wettelijke criteria (beschermingsdoelstellingen). Restrictief zijn de dosiscriteria voor kinderen. Dat wil zeggen dat als voldaan is aan de criteria voor kinderen, ook is voldaan aan de dosiscriteria voor volwassenen. Derhalve zijn alleen de resultaten voor de groep van kinderen vermeld.

7.5.5.1 Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen (PIE 1.5.1)

Beschermingsdoelstellingen

Gezien het kansbereik van dit ongeval ($10^{-1} > F \geq 10^{-2}$ per jaar), gelden de onderstaande dosiscriteria voor de meest restrictieve groep, namelijk kinderen:

- E_{eff} (kind) = 0,4 mSv;
- H_{th} = 500 mSv.

Ongevalseverloop en specifieke uitgangspunten

Het ongeval verloopt als volgt:

- tijdens bedrijf is er een lekkage van de primaire naar de secundaire zijde (stoomgeneratorpijplek) en de installatie moet uit bedrijf worden genomen;
- vlak voor aanvang van de uitbedrijfname ontstaat een noodstroomsituatie;
- 10 uur na het begin van de noodstroomsituatie wordt begonnen met de uitbedrijfname. Gedurende deze fase wordt in totaal circa 200-ton stoom naar de omgeving afgeblazen;
- circa 4 uur daarna wordt de afvoer van de restwarmte in de reactor overgenomen door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ). Gedurende deze fase wordt in totaal circa 150-ton stoom afgeblazen;
- een constant lekdebiet van 0,02 kg/s van primaire naar secundaire zijde wordt aangenomen gedurende deze totaal 14 uur.

De verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de bronterm zijn:

- het hoofdkoelmiddel wordt met secundair water afgeblazen als stoom met 0,25 % waterdruppels;
- de massieke activiteiten van het hoofdkoelmiddel zijn de waarden zoals weergegeven in tabel 7.5.3.1/2 voor $R=0,1$, met uitzondering van ^{131}I , ^{134}Cs en ^{137}Cs waarvoor de activiteiten

met de maximale spikingfactor van 30 zijn verhoogd. Dit in verband met de lange duur van het ongeval.

De bronterm wordt bepaald door de hoeveelheid van het primaire naar secundaire circuit gelekte hoofdkoelmiddel en de fractie van de nuclideinventaris van deze gelekte hoeveelheid hoofdkoelmiddel die uiteindelijk vrijkomt in de omgeving.

Afdekkende analyse

Voor PIE 1.5.1 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor de ENU en c-ERU evenwichtskernen. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Bronterm

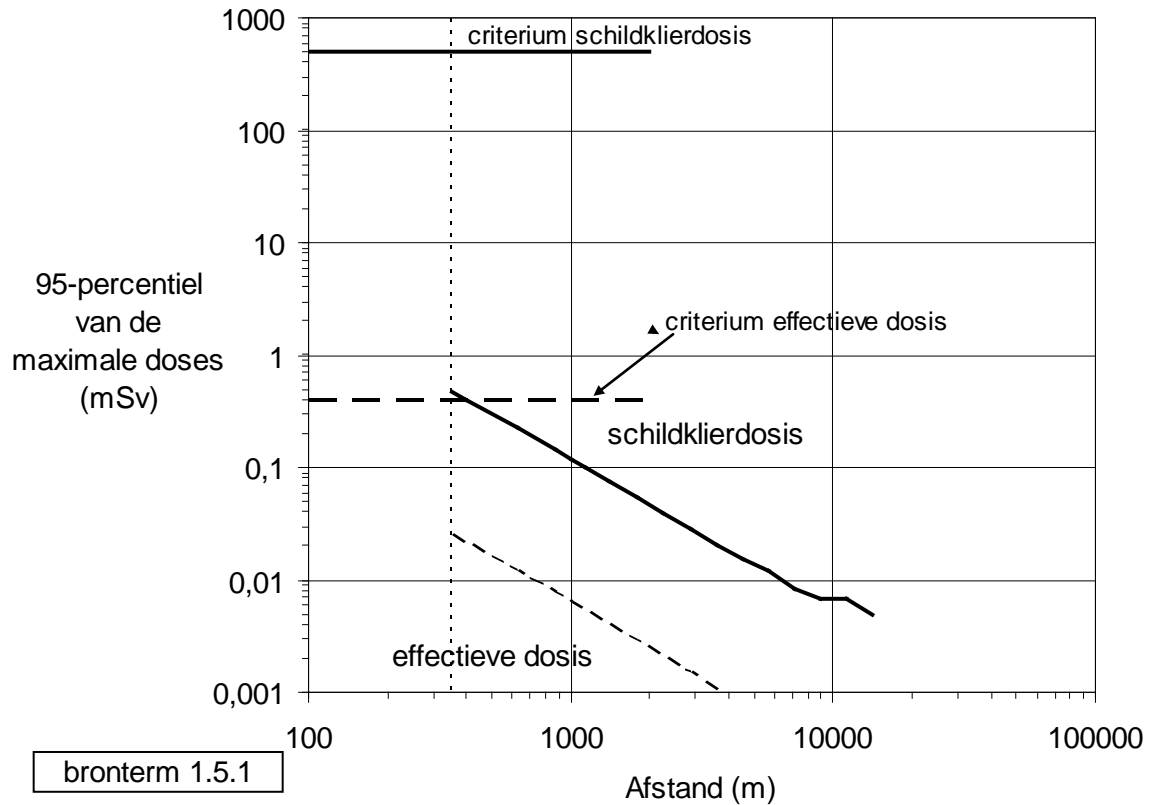
De bronterm voor deze PIE is weergegeven in tabel 7.5.5.1/1.

Tabel 7.5.5.1/1 Bronterm 1.5.1: Langdurige uitval secundaire hoofdkoeling met bedrijfslekkage stoomgeneratorpijpen

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
^{85m}Kr	$3,9 \cdot 10^{10}$	elementair		^{88}Rb	$1,4 \cdot 10^8$
^{85}Kr	$1,6 \cdot 10^8$	^{129}I	$4,8 \cdot 10^{-1}$	^{134}Cs	$1,0 \cdot 10^7$
^{87}Kr	$4,0 \cdot 10^{10}$	^{131}I	$2,5 \cdot 10^8$	^{137}Cs	$3,7 \cdot 10^7$
^{88}Kr	$6,5 \cdot 10^{10}$	^{132}I	$2,8 \cdot 10^7$	^{138}Cs	$1,2 \cdot 10^8$
^{131m}Xe	$4,1 \cdot 10^8$	^{133}I	$4,2 \cdot 10^7$	^{90}Sr	$9,6 \cdot 10^3$
^{133m}Xe	$6,0 \cdot 10^8$	^{134}I	$3,2 \cdot 10^7$	^3H	$2,3 \cdot 10^{10}$
^{133}Xe	$7,1 \cdot 10^{10}$	^{135}I	$4,4 \cdot 10^7$		
^{135m}Xe	$1,6 \cdot 10^{10}$	aërosol		^{51}Cr	$1,9 \cdot 10^5$
^{135}Xe	$2,5 \cdot 10^{11}$	^{129}I	$4,3 \cdot 10^0$	^{54}Mn	$1,9 \cdot 10^4$
^{138}Xe	$4,8 \cdot 10^{10}$	^{131}I	$2,3 \cdot 10^9$	^{59}Fe	$1,9 \cdot 10^4$
		^{132}I	$2,5 \cdot 10^8$	^{58}Co	$1,9 \cdot 10^5$
		^{133}I	$3,8 \cdot 10^8$	^{60}Co	$5,6 \cdot 10^4$
		^{134}I	$2,8 \cdot 10^8$	^{95}Zr	$9,3 \cdot 10^3$
		^{135}I	$3,9 \cdot 10^8$	^{124}Sb	$9,3 \cdot 10^4$

Resultaten dosisberekeningen / toetsing aan de dosiscriteria

De resultaten van de dosisberekeningen voor PIE 1.5.1 zijn weergegeven in figuur 7.5.5.1/1.



Figuur 7.5.5.1/1 95-percentielwaarde van de maximale effectieve dosis en schildklierdosis voor eenjarige kinderen als functie van de afstand voor PIE 1.5.1

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,025 mSv. De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens en berekend voor kinderen is 0,475 mSv. Hiermee wordt voldaan de gestelde criteria (beschermingsdoelstellingen).

Tabel 7.5.5.1/2 Toetsing van de berekende 95-percentiel van de maximale doses (mSv) voor kinderen aan de geldende dosiscriteria voor PIE 1.5.1

	Dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E_{eff} (kind)	0,025	0,4	Ja
H_{th} (kind)	0,475	500	Ja

7.5.5.2 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2)

Bij dit ontwerpongeval blijft er activiteit achter in de veiligheidsomhulling, waardoor personen in de omgeving blootgesteld kunnen worden aan gammastraling van de in de veiligheidsomhulling aanwezige nucliden. Voor dit ontwerpongeval is daarom niet alleen de blootstellingsdosis ten gevolge van emissies, maar ook ten gevolge van directe staling bij het bepalen van de effectieve dosis en schildklierdosis meegenomen.

Beschermingsdoelstellingen

Gezien het kansbereik van dit ongeval ($10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ per jaar), gelden de onderstaande dosiscriteria voor de meest restrictieve groep, namelijk kinderen:

- E_{eff} (kind) = 4 mSv;
- H_{th} = 500 mSv.

Ongevalseverloop en specifieke uitgangspunten

Het ongeval verloopt als volgt:

- er is een groot lek van 225 cm² in het primaire systeem naast de aansluiting van de toevoerleiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- er wordt een noodstroomsituatie verondersteld. Als gevolg van bijschakeling van de noodstroomdiesels is toevoer van noodkoelwater door kerninundatiepompen vertraagd. Bovendien is door het falen van één noodstroomdiesel slechts één van beide deelsystemen van de noodkoeling beschikbaar;
- door expansie van het uit het lek stromende hoofdkoelmiddel komt stoom in de veiligheidsomhulling vrij. Hierdoor neemt de druk in de veiligheidsomhulling toe;
- door tijdelijke druktoename in de veiligheidsomhulling komt de ringruimte circa 5 minuten op overdruk te staan, wat tot een kortdurende directe lekkage vanuit de ringruimte naar de omgeving leidt.

Middels de thermohydraulische analyse van dit ongeval (zie paragraaf 7.4) is aangetoond dat bij dit ontwerpongeval geen splijstofschaade optreedt.

Gezien het ongevalseverloop van ontwerpongeval 7.2.2 worden 2 deelbrontermen onderscheiden voor de volgende situaties:

- a. Bronterm 7.2.2a: lozing via de ringruimte door lekkage uit de op druk staande veiligheidsomhulling
Er is lekkage van de veiligheidsomhulling naar de ringruimte. De initiële leksnelheid is gelijk aan de maximaal toelaatbare leksnelheid van 0,25 volumeprocent per dag. De leksnelheid neemt af met de tijd. De totale lek vanuit de insluiting naar de ringruimte is 0,122 volumeprocent.
- b. Bronterm 7.2.2b: lozing ten gevolge van "bypass" van de ringruimte
Gedurende 5 minuten komt de ringruimte op overdruk te staan. Er is daardoor directe lekkage vanuit de ringruimte naar de omgeving.

De verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de brontermen zijn:

- van de nuclideinventaris van het gelekte hoofdkoelmiddel komt 100% van de edelgassen en 25% van de overige nucliden vrij in de atmosfeer van de veiligheidsomhulling. Deze hete gassen stijgen naar boven in de veiligheidsomhulling. Het overige deel van de nuclideinventaris blijft achter in het gelekte water op de vloer van de veiligheidsomhulling;
- de naar de ringruimte gelekte gassen worden via het ongevalsefilter TL070 naar de omgeving geloosd. Het jodium in de ringruimte bestaat voor 50% uit organisch gebonden jodium, de rest is elementair jodium;

- omdat gedurende geruime tijd de koeling van de splijtstofstaven niet stabiel is wordt verhoging van de activiteitwaarden voor ^{131}I , ^{134}Cs en ^{137}Cs met de maximale spikingfactor van 30 verondersteld;
- vanuit de ringruimte wordt gedurende circa 5 minuten ongefilterd naar de omgeving geloosd. De totale lek vanuit de veiligheidsomhulling naar de ringruimte gedurende deze tijd is $9 \cdot 10^{-4}$ volumeprocent. Van de lucht in de ringruimte wordt ten gevolge van overdruk 1/75-ste deel naar de omgeving geperst (geldt voor bronterm 7.2.2b).

Afdekkende analyse

Voor PIE 7.2.2 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor de ENU en c-ERU evenwichtskernen. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Bronterm

De brontermen voor deze PIE zijn weergegeven in tabel 7.5.5.2/1 en tabel 7.5.5.2/2.

Tabel 7.5.5.2/1 Bronterm 7.2.2a: lekkage van het primaire systeem bij "groot lek" en lozing via de ringruimte

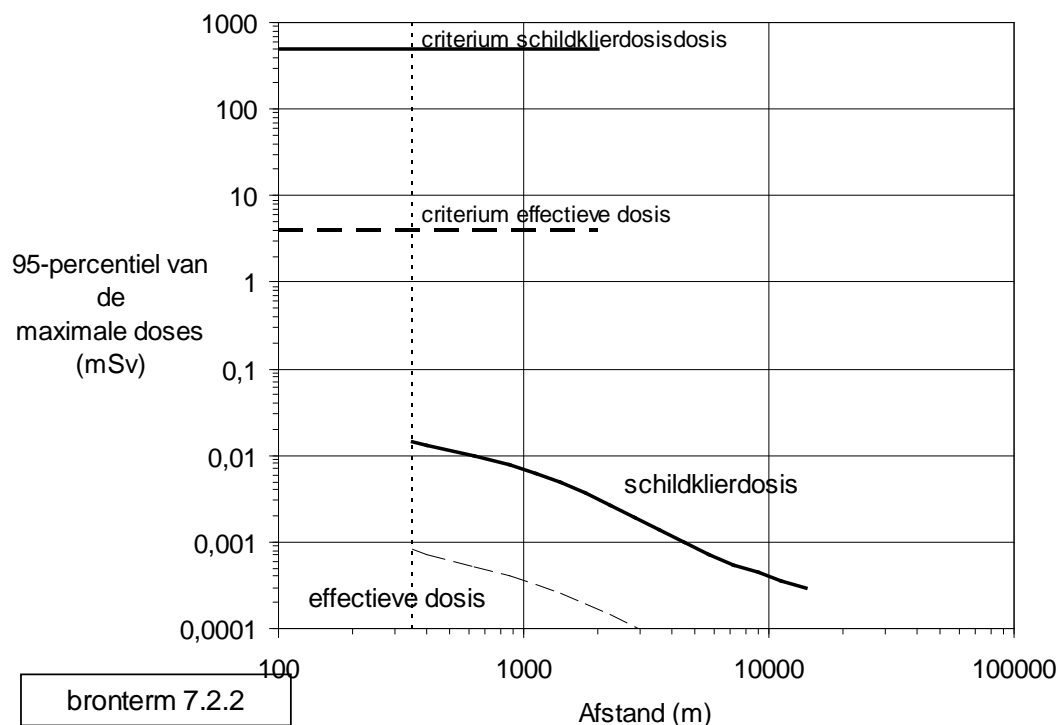
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$6,4 \cdot 10^9$	elementair		^{88}Rb	$2,4 \cdot 10^6$
^{85}Kr	$2,7 \cdot 10^7$	^{131}I	$2,1 \cdot 10^7$	^{134}Cs	$1,7 \cdot 10^5$
^{87}Kr	$6,7 \cdot 10^9$	^{132}I	$2,4 \cdot 10^6$	^{137}Cs	$6,2 \cdot 10^5$
^{88}Kr	$1,1 \cdot 10^{10}$	^{133}I	$3,5 \cdot 10^6$	^{138}Cs	$2,0 \cdot 10^6$
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	$6,8 \cdot 10^7$	^{134}I	$2,6 \cdot 10^6$		
$^{133\text{m}}\text{Xe}$	$9,9 \cdot 10^7$	^{135}I	$3,7 \cdot 10^6$	^{90}Sr	$1,6 \cdot 10^2$
^{133}Xe	$1,2 \cdot 10^{10}$				
$^{135\text{m}}\text{Xe}$	$2,7 \cdot 10^9$	organisch		^{51}Cr	$3,1 \cdot 10^3$
^{135}Xe	$4,1 \cdot 10^{10}$	^{131}I	$2,1 \cdot 10^8$	^{54}Mn	$3,1 \cdot 10^2$
^{138}Xe	$7,9 \cdot 10^9$	^{132}I	$2,4 \cdot 10^7$	^{59}Fe	$3,1 \cdot 10^2$
		^{133}I	$3,5 \cdot 10^7$	^{58}Co	$3,1 \cdot 10^3$
		^{134}I	$2,6 \cdot 10^7$	^{60}Co	$9,3 \cdot 10^2$
		^{135}I	$3,7 \cdot 10^7$	^{95}Zr	$1,6 \cdot 10^2$
				^{124}Sb	$1,6 \cdot 10^3$

Tabel 7.5.5.2/2 Bronterm 7.2.2b: lekkage van het primaire systeem bij "groot lek" en bypass van de ringruimte

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
^{85m}Kr	$5,6 \cdot 10^5$	elementair		^{88}Rb	$2,1 \cdot 10^5$
^{85}Kr	$2,4 \cdot 10^3$	^{131}I	$1,9 \cdot 10^6$	^{134}Cs	$1,5 \cdot 10^4$
^{87}Kr	$5,9 \cdot 10^5$	^{132}I	$2,1 \cdot 10^5$	^{137}Cs	$5,4 \cdot 10^4$
^{88}Kr	$9,5 \cdot 10^5$	^{133}I	$3,1 \cdot 10^5$	^{138}Cs	$1,8 \cdot 10^5$
^{131m}Xe	$5,9 \cdot 10^3$	^{134}I	$2,3 \cdot 10^5$		
^{133m}Xe	$8,7 \cdot 10^3$	^{135}I	$3,2 \cdot 10^5$	^{90}Sr	$1,4 \cdot 10^1$
^{133}Xe	$1,0 \cdot 10^6$	organisch		^{51}Cr	$2,7 \cdot 10^2$
^{135m}Xe	$2,3 \cdot 10^5$	^{131}I	$1,9 \cdot 10^6$	^{54}Mn	$2,7 \cdot 10^1$
^{135}Xe	$3,6 \cdot 10^6$	^{132}I	$2,1 \cdot 10^5$	^{59}Fe	$2,7 \cdot 10^1$
^{138}Xe	$7,0 \cdot 10^5$	^{133}I	$3,1 \cdot 10^5$	^{58}Co	$2,7 \cdot 10^2$
		^{134}I	$2,3 \cdot 10^5$	^{60}Co	$8,2 \cdot 10^1$
		^{135}I	$3,2 \cdot 10^5$	^{95}Zr	$1,4 \cdot 10^1$
				^{124}Sb	$1,4 \cdot 10^2$

Resultaten dosisberekeningen / toetsing aan de dosiscriteria

De resultaten van de dosisberekeningen voor PIE 7.2.2 zijn weergegeven in figuur 7.5.5.2/1. Het aandeel in de totale dosis ten gevolge van externe bestraling vanuit het reactorgebouw (directe straling) welke in de resultaten in figuur 7.5.5.2/1 en tabel 7.5.5.2/3 zijn meegenomen, wordt toegelicht in paragraaf 7.5.5.9.



Figuur 7.5.5.2/1 95-percentielwaarde van de maximale effectieve dosis en schildklierdosis voor eenjarige kinderen als functie van de afstand voor PIE 7.2.2

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,00082 mSv. De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens en berekend voor kinderen is 0,0147 mSv. Hiermee wordt voldaan de gestelde criteria (beschermingsdoelstellingen).

Tabel 7.5.5.2/3 Toetsing van de berekende 95-percentiel van de maximale doses (mSv) voor kinderen aan de geldende dosiscriteria voor PIE 7.2.2

	Dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E_{eff} (kind)	0,00082	4	Ja
H_{th} (kind)	0,0147	500	Ja

7.5.5.3 Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3)

Bij dit ontwerpongeval blijft er activiteit achter in de veiligheidsomhulling, waardoor personen in de omgeving blootgesteld kunnen worden aan gammastraling van de in de veiligheidsomhulling aanwezige nucliden. Voor dit ontwerpongeval is daarom niet alleen de blootstellingsdosis ten gevolge van emissies, maar ook ten gevolge van directe staling bij het bepalen van de effectieve dosis en schildklierdosis meegenomen.

Beschermingsdoelstellingen

Gezien het kansbereik van dit ongeval ($10^{-4} > F \geq 10^{-6}$ per jaar), gelden de onderstaande dosiscriteria voor de meest restrictieve groep, namelijk kinderen:

- E_{eff} (kind) = 40 mSv;
- H_{th} = 500 mSv.

Ongevalseverloop en specifieke uitgangspunten

Het ongeval verloopt als volgt:

- er wordt een volledige breuk van de hoofdkoelmiddelleiding aangenomen;
- additioneel wordt een lek in een leiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) in de ringruimte tijdens putbedrijf (recirculatiebedrijf) verondersteld. Dit lek wordt 30 minuten na het begin van de lekkage opgeheven;
- er wordt aangenomen dat een fractie van 10% van de splijtstofstaven beschadigd raakt bij het herstellen van de koeling. Een deel van de kerninventaris komt hierbij in het hoofdkoelmiddel vrij.

Gezien het ongevalsverloop van ontwerpongeval 7.2.3 worden 3 deelbrontermen onderscheiden voor de volgende situaties:

- Bronterm 7.2.3a: lozing via de ringruimte door lekkage uit de op druk staande veiligheidsomhulling
Er is lekkage van de veiligheidsomhulling naar de ringruimte. De initiële leksnelheid is gelijk aan de maximaal toelaatbare leksnelheid van 0,25 volumeprocent per dag. De leksnelheid neemt af met de tijd. De totale lek vanuit de insluiting naar de ringruimte is 0,122 volumeprocent.
- Bronterm 7.2.3b: lozing ten gevolge van "bypass" van de ringruimte
Gedurende 5 minuten komt de ringruimte op overdruk te staan. Er is daardoor directe lekkage vanuit de ringruimte naar de omgeving.
- Bronterm 7.2.3c: lozing ten gevolge van een additioneel lek in een leiding van het via de ringruimte door lekkage van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) in de ringruimte tijdens putbedrijf (recirculatiebedrijf)
 - Het lek wordt 30 minuten na het begin van de lekkage opgeheven. In totaal is in deze periode $5,5 \text{ m}^3$ hoofdkoelmiddel in de ringruimte gelekt;
 - een deel van de in het lekwater opgenomen jodium damp uit naar de atmosfeer van de ringruimte;
 - het lekwater wordt in een uur tijd afgevoerd naar het nucleair gebouwwontwateringssysteem (TZ) en wordt daar geïsoleerd. In dat uur wordt met de maximale capaciteit 3.000 m^3 gecontamineerde lucht afgevoerd naar het TL070-filter. Hierna moet ten gevolge van de aanname van concentratie-evenwicht 25.000 m^3 gecontamineerde lucht, zijnde het volume van de vrije ruimte van de ringruimte, worden afgevoerd via het TL070-filter.

De verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de brontermen zijn:

- de beschadiging van de splijtstofstaven leidt tot het vrijkomen in het hoofdkoelmiddel van 10 % van de in de kern aanwezige edelgassen, jodium en vluchtige vaste stoffen. Van de niet-vluchtige vaste stoffen komt 1 % vrij;
- alle edelgassen en een kwart van de overige stoffen komen vrij uit het hoofdkoelmiddel in het vrije volume van de veiligheidsomhulling. Het in de ringruimte aanwezige jodium bestaat voor 50% uit organisch gebonden jodium en voor 50% uit elementair jodium;
- vanuit de ringruimte wordt gedurende circa 5 minuten ongefilterd naar de omgeving geloosd. De totale lek vanuit de veiligheidsomhulling naar de ringruimte gedurende deze tijd is $9 \cdot 10^{-4}$ volumeprocent. Van de lucht in de ringruimte wordt ten gevolge van overdruk 1/75-ste deel naar de omgeving geperst (geldt voor bronterm 7.2.3b);
- door uitloging van de beschadigde splijtstofstaven tijdens putbedrijf komen additioneel 5% van de halogenen en alkalimetalen en 0,5% van de overige stoffen in het hoofdkoelmiddel vrij (geldt voor bronterm 7.2.3c);
- de concentratieverhouding in de ringruimte tussen jodium in water en lucht na een uur is $10^5:1$ (geldt voor bronterm 7.2.3c).

Afdekkende analyse

Voor PIE 7.2.3 is de effectieve dosis behorende bij een c-ERU evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als MOX evenwichtskern. Voor de schildklierdosis geldt de MOX evenwichtskern als afdekkend. In deze paragraaf worden daarom voor de effectieve dosis de resultaten van de c-ERU analyse en voor de schildklierdosis de resultaten van de MOX analyse beschreven.

Bronterm

De brontermen voor deze PIE zijn weergegeven in tabel 7.5.5.3/1 t/m tabel 7.5.5.3/5.

Tabel 7.5.5.3/1 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

Bronterm 7.2.3a c-ERU

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
^{83m} Kr	1,92.10 ¹²	¹²⁶ Sb	2,98.10 ⁶	^{131m} Xe	1,68.10 ¹¹
^{85m} Kr	4,66.10 ¹²	¹²⁷ Sb	3,42.10 ⁸	^{133m} Xe	9,52.10 ¹¹
⁸⁵ Kr	2,38.10 ¹¹	^{128L} Sb	0,00.10 ⁰	¹³³ Xe	3,17.10 ¹³
⁸⁷ Kr	7,98.10 ¹²	¹²⁹ Sb	1,11.10 ⁹	^{135m} Xe	6,54.10 ¹²
⁸⁸ Kr	1,08.10 ¹³	^{130L} Sb	1,36.10 ⁹	¹³⁵ Xe	7,91.10 ¹²
⁸⁶ Rb	2,78.10 ⁶	¹³¹ Sb	3,23.10 ⁹	¹³⁸ Xe	2,78.10 ¹³
⁸⁸ Rb	2,78.10 ⁹	¹³² Sb	0,00.10 ⁰	^{134m} Cs	1,96.10 ⁸
⁸⁹ Rb	3,81.10 ⁹	^{125m} Te	1,30.10 ⁷	¹³⁴ Cs	8,33.10 ⁸
⁸⁹ Sr	4,03.10 ⁸	^{127m} Te	2,76.10 ⁷	¹³⁶ Cs	2,00.10 ⁸
⁹⁰ Sr	4,39.10 ⁷	¹²⁷ Te	3,08.10 ⁴	¹³⁷ Cs	5,95.10 ⁸
⁹¹ Sr	4,94.10 ⁸	^{129m} Te	2,02.10 ⁸	¹³⁸ Cs	7,57.10 ⁹
⁹² Sr	5,22.10 ⁸	¹²⁹ Te	1,19.10 ⁹	¹³⁹ Ba	7,08.10 ⁹
⁹³ Sr	0,00.10 ⁰	^{131m} Te	5,55.10 ⁸	¹⁴⁰ Ba	6,93.10 ⁹
^{90m} Y	3,42.10 ⁴	¹³¹ Te	3,45.10 ⁹	¹⁴⁰ La	7,17.10 ⁸
⁹⁰ Y	4,58.10 ⁷	¹³² Te	5,43.10 ⁹	¹⁴¹ La	6,38.10 ⁹
^{91m} Y	2,52.10 ⁸	^{133m} Te	4,09.10 ⁹	¹⁴² La	6,22.10 ⁸
⁹¹ Y	5,28.10 ⁸	¹³³ Te	3,91.10 ⁹	¹⁴¹ Ce	6,62.10 ⁸
⁹² Y	5,22.10 ⁸	¹³⁴ Te	7,02.10 ⁹	¹⁴³ Ce	6,16.10 ⁸
⁹³ Y	5,86.10 ⁸			¹⁴⁴ Ce	5,43.10 ⁸
⁹⁵ Zr	6,99.10 ⁸	elementair		¹⁴³ Pr	6,16.10 ⁸
⁹⁷ Zr	6,53.10 ⁸	¹³⁰ I	5,74.10 ⁷	¹⁴⁵ Pr	4,18.10 ⁸
^{95m} Nb	7,75.10 ⁶	¹³¹ I	1,95.10 ⁹	¹⁴⁷ Nd	2,60.10 ⁸
⁹⁵ Nb	7,08.10 ⁸	¹³² I	2,76.10 ⁹	¹⁴⁷ Pm	9,61.10 ⁷
⁹⁷ Nb	6,56.10 ⁸	¹³³ I	3,94.10 ⁹	^{148m} Pm	1,38.10 ⁷
⁹⁹ Mo	7,35.10 ⁸	¹³⁴ I	4,29.10 ⁹	¹⁴⁸ Pm	6,38.10 ⁷
¹⁰¹ Mo	6,77.10 ⁸	¹³⁵ I	3,77.10 ⁹	¹⁴⁹ Pm	2,02.10 ⁸
^{99m} Tc	6,44.10 ⁸			¹⁵¹ Pm	7,29.10 ⁷
¹⁰¹ Tc	6,77.10 ⁸	organisch		¹⁵⁴ Eu	4,64.10 ⁶
¹⁰³ Ru	5,80.10 ⁸	¹³⁰ I	5,74.10 ⁸	¹⁵⁵ Eu	2,13.10 ⁶
¹⁰⁵ Ru	3,94.10 ⁸	¹³¹ I	1,95.10 ¹⁰	¹⁵⁶ Eu	8,70.10 ⁷
¹⁰⁶ Ru	2,09.10 ⁸	¹³² I	2,76.10 ¹⁰	²³⁸ Np	3,78.10 ⁸
^{103m} Rh	5,80.10 ⁸	¹³³ I	3,94.10 ¹⁰	²³⁹ Np	6,71.10 ⁹
¹⁰⁵ Rh	3,75.10 ⁸	¹³⁴ I	4,29.10 ¹⁰	²³⁸ Pu	3,69.10 ⁶
¹²⁴ Sb	3,88.10 ⁶	¹³⁵ I	3,77.10 ¹⁰	²³⁹ Pu	1,45.10 ⁵
¹²⁵ Sb	6,13.10 ⁷			²⁴⁰ Pu	1,86.10 ⁵
				²⁴¹ Pu	4,64.10 ⁷
				²⁴² Cm	1,74.10 ⁷
				²⁴⁴ Cm	1,31.10 ⁶

Tabel 7.5.5.3/2 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

Bronterm 7.2.3a MOX					
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
^{83m} Kr	1,6.10 ¹²	¹²⁶ Sb	3,8.10 ⁶	^{131m} Xe	1,7.10 ¹¹
^{85m} Kr	3,8.10 ¹²	¹²⁷ Sb	4,3.10 ⁸	^{133m} Xe	9,5.10 ¹¹
⁸⁵ Kr	1,8.10 ¹¹	^{128L} Sb	6,0.10 ⁷	¹³³ Xe	3,2.10 ¹³
⁸⁷ Kr	6,4.10 ¹²	¹²⁹ Sb	1,2.10 ⁹	^{135m} Xe	6,8.10 ¹²
⁸⁸ Kr	8,6.10 ¹²	^{130L} Sb	1,4.10 ⁹	¹³⁵ Xe	1,1.10 ¹³
⁸⁶ Rb	6,5.10 ⁶	¹³¹ Sb	3,3.10 ⁹	¹³⁸ Xe	2,7.10 ¹³
⁸⁸ Rb	2,2.10 ⁹	¹³² Sb	1,6.10 ⁹	^{134m} Cs	1,8.10 ⁸
⁸⁹ Rb	3,0.10 ⁹	^{125m} Te	1,9.10 ⁷	¹³⁴ Cs	7,5.10 ⁸
⁸⁹ Sr	3,1.10 ⁸	^{127m} Te	4,2.10 ⁷	¹³⁶ Cs	2,2.10 ⁸
⁹⁰ Sr	3,2.10 ⁷	¹²⁷ Te	3,9.10 ⁸	¹³⁷ Cs	5,6.10 ⁸
⁹¹ Sr	4,0.10 ⁸	^{129m} Te	2,2.10 ⁸	¹³⁸ Cs	7,4.10 ⁹
⁹² Sr	4,4.10 ⁸	¹²⁹ Te	1,3.10 ⁹	¹³⁹ Ba	6,7.10 ⁹
⁹³ Sr	5,0.10 ⁸	^{131m} Te	6,0.10 ⁸	¹⁴⁰ Ba	6,7.10 ⁹
^{90m} Y	2,6.10 ⁴	¹³¹ Te	3,5.10 ⁹	¹⁴⁰ Ba	6,7.10 ⁹
⁹⁰ Y	3,3.10 ⁷	¹³² Te	5,5.10 ⁹	¹⁴¹ La	6,9.10 ⁸
^{91m} Y	2,1.10 ⁸	^{133m} Te	4,0.10 ⁹	¹⁴¹ La	6,1.10 ⁸
⁹¹ Y	4,2.10 ⁸	¹³³ Te	4,0.10 ⁹	¹⁴² La	6,0.10 ⁸
⁹² Y	4,4.10 ⁸	¹³³ Te	3,8.10 ⁹	¹⁴¹ Ce	6,3.10 ⁸
⁹³ Y	5,2.10 ⁸	¹³⁴ Te	6,7.10 ⁹	¹⁴³ Ce	5,7.10 ⁸
⁹⁵ Zr	6,3.10 ⁸			¹⁴⁴ Ce	4,7.10 ⁸
⁹⁷ Zr	6,2.10 ⁸	elementair		¹⁴³ Pr	5,7.10 ⁸
^{95m} Nb	7,0.10 ⁶	¹³⁰ I	5,3.10 ⁷	¹⁴⁵ Pr	4,0.10 ⁸
⁹⁵ Nb	6,3.10 ⁸	¹³¹ I	2,0.10 ⁹	¹⁴⁷ Nd	2,6.10 ⁸
⁹⁷ Nb	6,3.10 ⁸	¹³² I	2,8.10 ⁹	¹⁴⁷ Pm	8,4.10 ⁷
⁹⁹ Mo	7,2.10 ⁸	¹³³ I	3,9.10 ⁹	^{148m} Pm	1,7.10 ⁷
¹⁰¹ Mo	6,9.10 ⁸	¹³⁴ I	4,2.10 ⁹	¹⁴⁸ Pm	6,3.10 ⁷
^{99m} Tc	6,3.10 ⁸	¹³⁵ I	3,8.10 ⁹	¹⁴⁹ Pm	2,0.10 ⁸
¹⁰¹ Tc	7,0.10 ⁸			¹⁵¹ Pm	8,1.10 ⁷
¹⁰³ Ru	6,7.10 ⁸	organisch		¹⁵⁴ Eu	5,1.10 ⁶
¹⁰⁵ Ru	5,0.10 ⁸	¹³⁰ I	5,3.10 ⁸	¹⁵⁵ Eu	3,0.10 ⁶
¹⁰⁶ Ru	3,1.10 ⁸	¹³¹ I	2,0.10 ¹⁰	¹⁵⁶ Eu	9,2.10 ⁷
^{103m} Rh	6,7.10 ⁸	¹³² I	2,8.10 ¹⁰	²³⁸ Np	9,2.10 ⁷
¹⁰⁵ Rh	4,9.10 ⁸	¹³³ I	3,9.10 ¹⁰	²³⁹ Np	6,5.10 ⁹
¹²⁴ Sb	5,2.10 ⁶	¹³⁴ I	4,2.10 ¹⁰	²³⁸ Pu	7,1.10 ⁶
¹²⁵ Sb	8,8.10 ⁷	¹³⁵ I	3,8.10 ¹⁰	²³⁹ Pu	3,5.10 ⁵
				²⁴⁰ Pu	
				²⁴¹ Pu	1,8.10 ⁸
				²⁴² Cm	1,3.10 ⁸
				²⁴⁴ Cm	9,5.10 ⁶

Tabel 7.5.5.3/3 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte

Bronterm 7.2.3b c-ERU					
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
^{83m} Kr	1,88.10 ⁸	¹²⁶ Sb	2,93.10 ⁵	^{131m} Xe	1,66.10 ⁷
^{85m} Kr	4,58.10 ⁸	¹²⁷ Sb	3,36.10 ⁷	^{133m} Xe	9,36.10 ⁷
⁸⁵ Kr	2,34.10 ⁷	^{128L} Sb	0,00.10 ⁰	¹³³ Xe	3,12.10 ⁹
⁸⁷ Kr	7,85.10 ⁸	¹²⁹ Sb	1,09.10 ⁸	^{135m} Xe	6,43.10 ⁸
⁸⁸ Kr	1,07.10 ⁹	^{130L} Sb	1,34.10 ⁸	¹³⁵ Xe	7,78.10 ⁸
⁸⁶ Rb	8,52.10 ⁵	¹³¹ Sb	3,18.10 ⁸	¹³⁸ Xe	2,74.10 ⁹
⁸⁸ Rb	2,74.10 ⁸	¹³² Sb	0,00.10 ⁰	^{134m} Cs	1,92.10 ⁷
⁸⁹ Rb	3,75.10 ⁸	^{125m} Te	1,28.10 ⁶	¹³⁴ Cs	8,19.10 ⁷
⁸⁹ Sr	3,96.10 ⁷	^{127m} Te	2,72.10 ⁶	¹³⁶ Cs	1,96.10 ⁷
⁹⁰ Sr	4,32.10 ⁶	¹²⁷ Te	3,03.10 ⁷	¹³⁷ Cs	5,85.10 ⁷
⁹¹ Sr	4,86.10 ⁷	^{129m} Te	1,99.10 ⁷	¹³⁸ Cs	7,44.10 ⁸
⁹² Sr	5,13.10 ⁷	¹²⁹ Te	1,17.10 ⁸	¹³⁹ Ba	6,96.10 ⁸
⁹³ Sr	0,00.10 ⁰	^{131m} Te	5,46.10 ⁷	¹⁴⁰ Ba	6,81.10 ⁸
^{90m} Y	3,36.10 ³	¹³¹ Te	3,39.10 ⁸	¹⁴⁰ La	7,05.10 ⁷
⁹⁰ Y	4,50.10 ⁶	¹³² Te	5,34.10 ⁸	¹⁴¹ La	6,27.10 ⁷
^{91m} Y	2,48.10 ⁷	^{133m} Te	4,02.10 ⁸	¹⁴² La	6,12.10 ⁷
⁹¹ Y	5,19.10 ⁷	¹³³ Te	3,84.10 ⁸	¹⁴¹ Ce	6,51.10 ⁷
⁹² Y	5,13.10 ⁷	¹³⁴ Te	6,90.10 ⁸	¹⁴³ Ce	6,06.10 ⁷
⁹³ Y	5,76.10 ⁷			¹⁴⁴ Ce	5,34.10 ⁷
⁹⁵ Zr	6,87.10 ⁷	elementair		¹⁴³ Pr	6,06.10 ⁷
⁹⁷ Zr	6,42.10 ⁷	¹³⁰ I	5,64.10 ⁶	¹⁴⁵ Pr	4,11.10 ⁷
^{95m} Nb	7,62.10 ⁵	¹³¹ I	1,92.10 ⁸	¹⁴⁷ Nd	2,56.10 ⁷
⁹⁵ Nb	6,96.10 ⁷	¹³² I	2,72.10 ⁸	¹⁴⁷ Pm	9,45.10 ⁶
⁹⁷ Nb	6,45.10 ⁷	¹³³ I	3,87.10 ⁸	^{148m} Pm	1,36.10 ⁶
⁹⁹ Mo	7,23.10 ⁷	¹³⁴ I	4,22.10 ⁸	¹⁴⁸ Pm	6,27.10 ⁶
¹⁰¹ Mo	6,66.10 ⁷	¹³⁵ I	3,71.10 ⁸	¹⁴⁹ Pm	1,99.10 ⁷
^{99m} Tc	6,33.10 ⁷			¹⁵¹ Pm	7,17.10 ⁶
¹⁰¹ Tc	6,66.10 ⁷	organisch		¹⁵⁴ Eu	4,56.10 ⁵
¹⁰³ Ru	5,70.10 ⁷	¹³⁰ I	5,64.10 ⁶	¹⁵⁵ Eu	2,09.10 ⁵
¹⁰⁵ Ru	3,87.10 ⁷	¹³¹ I	1,92.10 ⁸	¹⁵⁶ Eu	8,55.10 ⁶
¹⁰⁶ Ru	2,06.10 ⁷	¹³² I	2,72.10 ⁸	²³⁸ Np	3,72.10 ⁷
^{103m} Rh	5,70.10 ⁷	¹³³ I	3,87.10 ⁸	²³⁹ Np	6,60.10 ⁸
¹⁰⁵ Rh	3,69.10 ⁷	¹³⁴ I	4,22.10 ⁸	²³⁸ Pu	3,63.10 ⁵
¹²⁴ Sb	3,81.10 ⁵	¹³⁵ I	3,71.10 ⁸	²³⁹ Pu	1,43.10 ⁴
¹²⁵ Sb	6,03.10 ⁶			²⁴⁰ Pu	1,83.10 ⁴
				²⁴¹ Pu	4,56.10 ⁶
				²⁴² Cm	1,71.10 ⁶
				²⁴⁴ Cm	1,29.10 ⁵

Tabel 7.5.5.3/4 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte

Bronterm 7.2.3b MOX

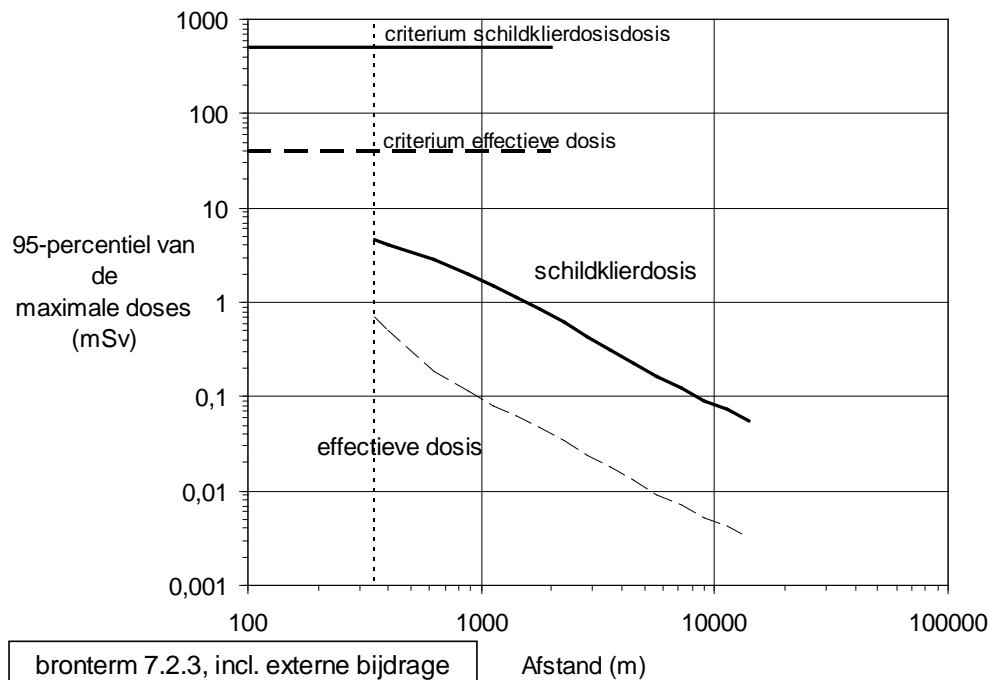
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
^{83m} Kr	1,6.10 ⁸	¹²⁶ Sb	3,7.10 ⁵	^{131m} Xe	1,7.10 ⁷
^{85m} Kr	3,7.10 ⁸	¹²⁷ Sb	4,2.10 ⁷	^{133m} Xe	9,4.10 ⁷
⁸⁵ Kr	1,8.10 ⁷	^{128L} Sb	5,9.10 ⁶	¹³³ Xe	3,1.10 ⁹
⁸⁷ Kr	6,3.10 ⁸	¹²⁹ Sb	1,2.10 ⁸	^{135m} Xe	6,7.10 ⁸
⁸⁸ Kr	8,5.10 ⁸	^{130L} Sb	1,4.10 ⁸	¹³⁵ Xe	1,0.10 ⁹
⁸⁶ Rb	6,4.10 ⁵	¹³¹ Sb	3,2.10 ⁸	¹³⁸ Xe	2,6.10 ⁹
⁸⁸ Rb	2,2.10 ⁸	¹³² Sb	1,6.10 ⁸	^{134m} Cs	1,8.10 ⁷
⁸⁹ Rb	3,0.10 ⁸	^{125m} Te	1,9.10 ⁶	¹³⁴ Cs	7,4.10 ⁷
⁸⁹ Sr	3,1.10 ⁷	^{127m} Te	4,1.10 ⁶	¹³⁶ Cs	2,1.10 ⁷
⁹⁰ Sr	3,1.10 ⁶	¹²⁷ Te	3,9.10 ⁷	¹³⁷ Cs	5,5.10 ⁷
⁹¹ Sr	3,9.10 ⁷	^{129m} Te	2,2.10 ⁷	¹³⁸ Cs	7,2.10 ⁸
⁹² Sr	4,3.10 ⁷	¹²⁹ Te	1,3.10 ⁸	¹³⁹ Ba	6,6.10 ⁸
⁹³ Sr	5,0.10 ⁷	^{131m} Te	5,9.10 ⁷	¹⁴⁰ Ba	6,5.10 ⁸
^{90m} Y	2,5.10 ³	¹³¹ Te	3,5.10 ⁸	¹⁴⁰ La	6,8.10 ⁷
⁹⁰ Y	3,2.10 ⁶	¹³² Te	5,4.10 ⁸	¹⁴¹ La	6,0.10 ⁷
^{91m} Y	2,0.10 ⁷	^{133m} Te	4,0.10 ⁸	¹⁴² La	5,9.10 ⁷
⁹¹ Y	4,1.10 ⁷	¹³³ Te	3,8.10 ⁸	¹⁴¹ Ce	6,2.10 ⁷
⁹² Y	4,4.10 ⁷	¹³⁴ Te	6,6.10 ⁸	¹⁴³ Ce	5,6.10 ⁷
⁹⁵ Zr	6,2.10 ⁷			¹⁴⁴ Ce	4,7.10 ⁷
⁹⁷ Zr	6,1.10 ⁷	elementair		¹⁴³ Pr	5,6.10 ⁷
^{95m} Nb	6,9.10 ⁵	¹³⁰ I	5,3.10 ⁶	¹⁴⁵ Pr	3,9.10 ⁷
⁹⁵ Nb	6,2.10 ⁷	¹³¹ I	2,0.10 ⁸	¹⁴⁷ Nd	2,5.10 ⁷
⁹⁷ Nb	6,2.10 ⁷	¹³² I	2,7.10 ⁸	¹⁴⁷ Pm	8,3.10 ⁶
⁹⁹ Mo	7,1.10 ⁷	¹³³ I	3,9.10 ⁸	^{148m} Pm	1,6.10 ⁶
¹⁰¹ Mo	6,8.10 ⁷	¹³⁴ I	4,2.10 ⁸	¹⁴⁸ Pm	6,2.10 ⁶
^{99m} Tc	6,2.10 ⁷	¹³⁵ I	3,7.10 ⁸	¹⁴⁹ Pm	2,0.10 ⁷
¹⁰¹ Tc	6,8.10 ⁷			¹⁵¹ Pm	8,0.10 ⁶
¹⁰³ Ru	6,6.10 ⁷	organisch		¹⁵⁴ Eu	5,0.10 ⁵
¹⁰⁵ Ru	5,0.10 ⁷	¹³⁰ I	5,3.10 ⁶	¹⁵⁵ Eu	2,9.10 ⁵
¹⁰⁶ Ru	3,0.10 ⁷	¹³¹ I	2,0.10 ⁸	¹⁵⁶ Eu	9,1.10 ⁶
^{103m} Rh	6,5.10 ⁷	¹³² I	2,7.10 ⁸	²³⁸ Np	9,0.10 ⁶
¹⁰⁵ Rh	4,8.10 ⁷	¹³³ I	3,9.10 ⁸	²³⁹ Np	6,4.10 ⁸
¹²⁴ Sb	5,1.10 ⁵	¹³⁴ I	4,2.10 ⁸	²³⁸ Pu	7,0.10 ⁵
¹²⁵ Sb	8,7.10 ⁶	¹³⁵ I	3,7.10 ⁸	²³⁹ Pu	3,5.10 ⁴
				²⁴⁹ Pu	8,6.10 ⁴
				²⁴¹ Pu	1,8.10 ⁷
				²⁴² Cm	1,2.10 ⁷
				²⁴⁴ Cm	9,3.10 ⁵

Tabel 7.5.5.3/5 Bronterm 7.2.3c: TJ-lek

Bronterm 7.2.3c c-ERU			
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
elementair		organisch	
¹³⁰ I	$3,03 \cdot 10^8$	¹³⁰ I	$3,03 \cdot 10^9$
¹³¹ I	$1,03 \cdot 10^{10}$	¹³¹ I	$1,03 \cdot 10^{11}$
¹³² I	$1,46 \cdot 10^{10}$	¹³² I	$1,46 \cdot 10^{11}$
¹³³ I	$2,08 \cdot 10^{10}$	¹³³ I	$2,08 \cdot 10^{11}$
¹³⁴ I	$2,26 \cdot 10^{10}$	¹³⁴ I	$2,26 \cdot 10^{11}$
¹³⁵ I	$1,99 \cdot 10^{10}$	¹³⁵ I	$1,99 \cdot 10^{11}$
Bronterm 7.2.3c MOX			
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
elementair		organisch	
¹³⁰ I	$2,8 \cdot 10^8$	¹³⁰ I	$2,8 \cdot 10^9$
¹³¹ I	$1,1 \cdot 10^{10}$	¹³¹ I	$1,1 \cdot 10^{11}$
¹³² I	$1,5 \cdot 10^{10}$	¹³² I	$1,5 \cdot 10^{11}$
¹³³ I	$2,1 \cdot 10^{10}$	¹³³ I	$2,1 \cdot 10^{11}$
¹³⁴ I	$2,2 \cdot 10^{10}$	¹³⁴ I	$2,2 \cdot 10^{11}$
¹³⁵ I	$2,0 \cdot 10^{10}$	¹³⁵ I	$2,0 \cdot 10^{11}$

Resultaten dosisberekeningen / toetsing aan de dosiscriteria

De resultaten van de dosisberekeningen voor PIE 7.2.3 zijn weergegeven in figuur 7.5.5.3/1. Het aandeel in de totale dosis ten gevolge van externe bestraling vanuit het reactorgebouw (directe straling), welke in de resultaten in figuur 7.5.5.3/1 en tabel 7.5.5.3/6 zijn meegenomen, wordt toegelicht in paragraaf 7.5.5.9.



Figuur 7.5.5.3/1 95-percentielwaarde van de maximale effectieve dosis en schildklierdosis voor eenjarige kinderen als functie van de afstand voor PIE 7.2.3

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,696 mSv. De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens en berekend voor kinderen is 4,58 mSv. Hiermee wordt voldaan de gestelde criteria (beschermingsdoelstellingen).

Tabel 7.5.5.3/6 Toetsing van de berekende 95-percentiel van de maximale doses (mSv) voor kinderen aan de geldende dosiscriteria voor PIE 7.2.3

	Dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E_{eff} (kind)	0,696	40	Ja
H_{th} (kind)	4,58	500	Ja

7.5.5.4 **Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig) (PIE 7.3.2.2)**

Beschermingsdoelstellingen

Gezien het kansbereik van dit ongeval ($10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ per jaar), gelden de onderstaande dosisriteria voor de meest restrictieve groep, namelijk kinderen:

- E_{eff} (kind) = 4 mSv;
- H_{th} = 500 mSv.

Ongevalseverloop en specifieke uitgangspunten

Het ongeval verloopt als volgt:

- enkele stoomgeneratorpijpen bezwijken. Daardoor lekt hoofdkoelmiddel naar de secundaire zijde;
- er treedt tegelijkertijd een noodstroomsituatie op, ten gevolge waarvan secundair stoom wordt afgeblazen;
- na 30 minuten wordt gestart met het isoleren van de lekke stoomgenerator. Voordat de isolatie effectief is, zijn nog eens 30 minuten verstrekken;
- in totaal stroomt 53.000 kg hoofdkoelmiddel naar de secundaire zijde, gebaseerd op resultaten van thermohydraulische analyses en een constant lekdebiet van 14 kg/s tijdens het isoleren van de lekke stoomgenerator;
- in totaal wordt daarvan circa 7.100 kg als stoom naar de omgeving afgeblazen.

De verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de bronterm zijn:

- het hoofdkoelmiddel wordt na menging met secundair water afgeblazen als stoom met 0,25% waterdruppels;
- de afname van de radioactiviteit door radioactief verval is verwaarloosd;
- als massieke activiteiten van het hoofdkoelmiddel gelden de waarden zoals weergegeven in tabel 7.5.3.1/2 voor $R = 0,1$;
- in verband met het optredende spikingeffect zijn de gegeven activiteitwaarden van ^{131}I , ^{134}Cs en ^{137}Cs met een factor 12,7 verhoogd, samenhangend met de relatief korte duur van het ongeval.

Afdekkende analyse

Voor PIE 7.3.2.2 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als c-ERU evenwichtskernen. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Bronterm

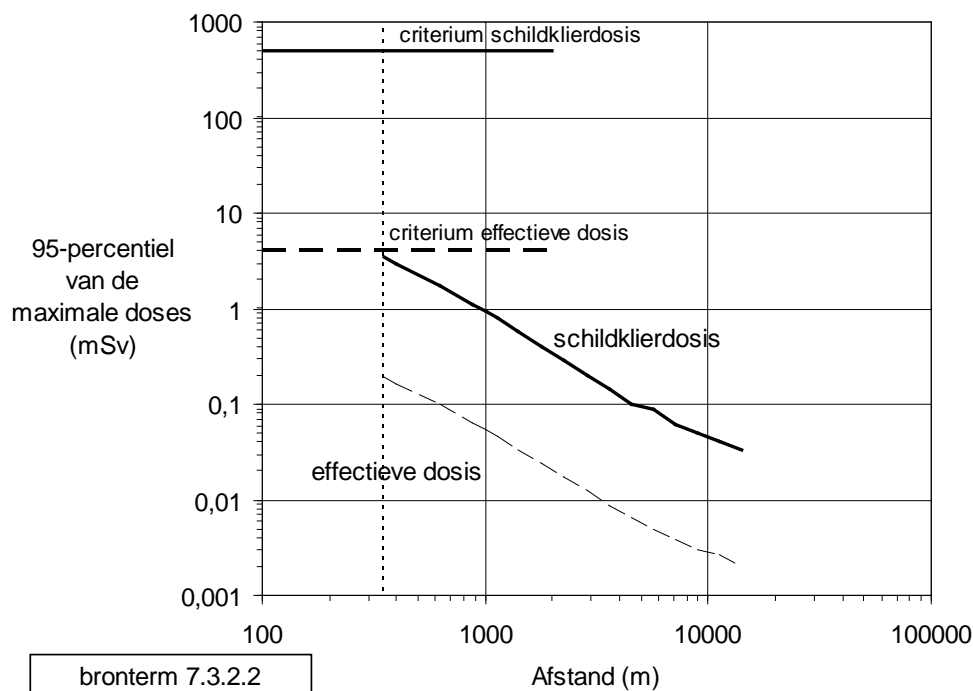
De bronterm voor deze PIE is weergegeven in tabel 7.5.5.4/1.

Tabel 7.5.5.4/1 Bronterm 7.3.2.2: bezwijken stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
^{85m}Kr	$2,0 \cdot 10^{12}$	elementair		^{88}Rb	$1,0 \cdot 10^9$
^{85}Kr	$8,5 \cdot 10^9$	^{131}I	$7,6 \cdot 10^8$	^{134}Cs	$3,0 \cdot 10^7$
^{87}Kr	$2,1 \cdot 10^{12}$	^{132}I	$2,0 \cdot 10^8$	^{137}Cs	$1,1 \cdot 10^8$
^{88}Kr	$3,4 \cdot 10^{12}$	^{133}I	$3,0 \cdot 10^8$	^{138}Cs	$8,7 \cdot 10^8$
^{131m}Xe	$2,1 \cdot 10^{10}$	^{134}I	$2,2 \cdot 10^8$	^{90}Sr	$6,8 \cdot 10^4$
^{133m}Xe	$3,1 \cdot 10^{10}$	^{135}I	$3,1 \cdot 10^8$	^3H	$1,6 \cdot 10^{11}$
^{133}Xe	$3,7 \cdot 10^{12}$	aërosol			
^{135m}Xe	$8,4 \cdot 10^{11}$	^{131}I	$6,9 \cdot 10^8$	^{51}Cr	$1,3 \cdot 10^6$
^{135}Xe	$1,3 \cdot 10^{13}$	^{132}I	$1,8 \cdot 10^9$	^{54}Mn	$1,3 \cdot 10^5$
^{138}Xe	$2,5 \cdot 10^{12}$	^{133}I	$2,7 \cdot 10^9$	^{59}Fe	$1,3 \cdot 10^5$
		^{134}I	$2,0 \cdot 10^9$	^{58}Co	$1,3 \cdot 10^6$
		^{135}I	$2,8 \cdot 10^9$	^{60}Co	$3,9 \cdot 10^5$
				^{95}Zr	$6,6 \cdot 10^4$
				^{124}Sb	$6,6 \cdot 10^5$

Resultaten dosisberekeningen / toetsing aan de dosiscriteria

De resultaten van de dosisberekeningen voor PIE 7.3.2.2 zijn weergegeven in figuur 7.5.5.4/1.



Figuur 7.5.5.4/1 95-percentielwaarde van de maximale effectieve dosis en schildklierdosis voor eenjarige kinderen als functie van de afstand voor PIE 7.3.2.2

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,19 mSv. De maximale schildklierdosis, ontvangen buiten de terreingrens en berekend voor kinderen is 3,48 mSv. Hiermee wordt voldaan de gestelde criteria (beschermingsdoelstellingen).

Tabel 7.5.5.4/2 Toetsing van de berekende 95-percentiel van de maximale doses (mSv) voor kinderen aan de geldende dosiscriteria voor PIE 7.3.2.2

	Dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E_{eff} (kind)	0,19	4	Ja
H_{th} (kind)	3,48	500	Ja

7.5.5.5 Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling (PIE 7.4.2)

Beschermingsdoelstellingen

Gezien het kansbereik van dit ongeval ($10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ per jaar), gelden de onderstaande dosiscriteria voor de meest restrictieve groep, namelijk kinderen:

- E_{eff} (kind) = 4 mSv;
- H_{th} = 500 mSv.

Ongevalseverloop en specifieke uitgangspunten

Het ongeval verloopt als volgt:

- tijdens normaal bedrijf breekt een meetleiding die door de ringruimte loopt en die hoofdkoelmiddel bevat;
- het hoofdkoelmiddel stroomt in de ringruimte en wordt daar ontgast;
- de eerste 10 minuten na aanvang van het ongeval worden de uit het hoofdkoelmiddel vrijgekomen gassen via het luchtafvoersysteem TL02 afgevoerd. Daarna komt de ringruimteafzuiging TL070 bij en worden de uit het hoofdkoelmiddel vrijgekomen gassen via dit systeem afgevoerd;
- na 30 minuten wordt het lek door ingrijpen van de operator opgeheven. Gedurende deze 30 minuten is in totaal circa 3.500 kg hoofdkoelmiddel in de ringruimte gelekt.

De verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de bronterm zijn:

- als massieke activiteiten van het hoofdkoelmiddel gelden de waarden zoals weergegeven in tabel 7.5.3.1/2 voor $R = 0,1$;
- in verband met het optredende spikingeffect zijn de gegeven activiteitwaarden van ^{131}I , ^{134}Cs en ^{137}Cs met een factor 3,37 verhoogd, samenhangend met de duur van het ongeval.

Afdekkende analyse

Voor PIE 7.4.2 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als c-ERU evenwichtskernen. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Bronterm

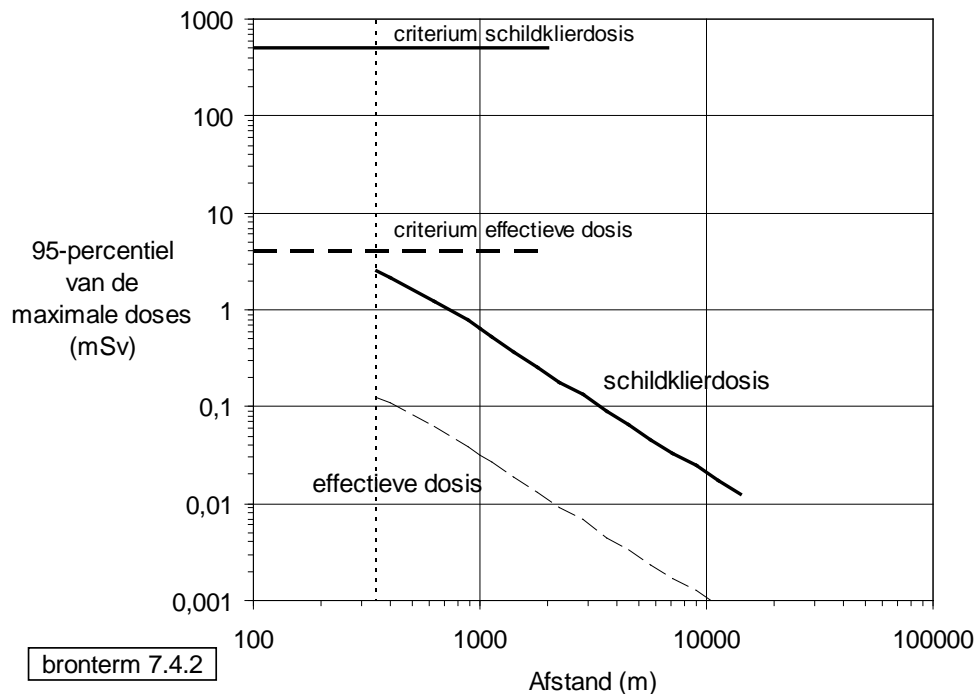
De bronterm voor deze PIE is weergegeven in tabel 7.5.5.5/1.

Tabel 7.5.5.5/1 Bronterm 7.4.2: lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
^{85m}Kr	$1,3 \cdot 10^{11}$	elementair		^{88}Rb	$2,0 \cdot 10^7$
^{85}Kr	$5,6 \cdot 10^8$	^{129}I	$2,2 \cdot 10^1$	^{134}Cs	$1,6 \cdot 10^5$
^{87}Kr	$1,4 \cdot 10^{11}$	^{131}I	$1,3 \cdot 10^9$	^{137}Cs	$5,8 \cdot 10^5$
^{131m}Kr	$2,3 \cdot 10^{11}$	^{132}I	$1,3 \cdot 10^9$	^{138}Cs	$1,7 \cdot 10^7$
^{131m}Xe	$1,4 \cdot 10^9$	^{133}I	$2,0 \cdot 10^9$		
^{133m}Xe	$2,1 \cdot 10^9$	^{134}I	$1,5 \cdot 10^9$	^{90}Sr	$1,3 \cdot 10^3$
^{133}Xe	$2,5 \cdot 10^{11}$	^{135}I	$2,0 \cdot 10^9$	^3H	$8,1 \cdot 10^{10}$
^{135m}Xe	$5,5 \cdot 10^{10}$	aërosol			
^{135}Xe	$8,5 \cdot 10^{11}$	^{129}I	$6,1 \cdot 10^{-1}$	^{51}Cr	$2,6 \cdot 10^4$
^{138}Xe	$1,7 \cdot 10^{11}$	^{131}I	$3,6 \cdot 10^7$	^{54}Mn	$2,6 \cdot 10^3$
		^{132}I	$3,6 \cdot 10^7$	^{59}Fe	$2,6 \cdot 10^3$
		^{133}I	$5,3 \cdot 10^7$	^{58}Co	$2,6 \cdot 10^4$
		^{134}I	$4,0 \cdot 10^7$	^{60}Co	$7,8 \cdot 10^3$
		^{135}I	$5,5 \cdot 10^7$	^{95}Zr	$1,3 \cdot 10^3$
				^{124}Sb	$1,3 \cdot 10^4$

Resultaten dosisberekeningen / toetsing aan de dosiscriteria

De resultaten van de dosisberekeningen voor PIE 7.4.2 zijn weergegeven in figuur 7.5.5.5/1.



Figuur 7.5.5.5/1 95-percentielwaarde van de maximale effectieve dosis en schildklierdosis voor eenjarige kinderen als functie van de afstand voor PIE 7.4.2

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,13 mSv. De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens en berekend voor kinderen is 2,47 mSv. Hiermee wordt voldaan de gestelde criteria (beschermingsdoelstellingen).

Tabel 7.5.5.5/2 Toetsing van de berekende 95-percentiel van de maximale doses (mSv) voor kinderen aan de geldende dosiscriteria voor PIE 7.4.2

	Dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E_{eff} (kind)	0,13	4	Ja
H_{th} (kind)	2,47	500	Ja

7.5.5.6 Lekkage in een leiding van het afgassysteem (PIE 8.2)

Beschermingsdoelstellingen

Het kansengebied van dit ontwerpgeval bedraagt $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ per jaar. Om ook afdekkend te kunnen zijn voor PIE 8.1 ($1 > F \geq 10^{-1}$ per jaar) wordt het meest beperkende dosiscriterium behorende bij het kansengebied ($1 > F \geq 10^{-1}$ per jaar) gehanteerd:

- E_{eff} (kind) = 0,04 mSv;
- H_{th} = 500 mSv.

Ongevalseverloop en specifieke uitgangspunten

Het ongeval verloopt als volgt:

- er treedt een lekkage van het koelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) op;
- gedurende 12 uur voor aanvang van het ongeval wordt het hoofdkoelmiddel ontgast met de maximale capaciteit $32 \cdot 10^3$ kg/uur. De ontgassing duurt voort tijdens de lekkage;
- na 30 minuten wordt het lek in het TC-systeem door ingrijpen van de operator opgeheven;
- het TC-systeem is in de daaraan voorafgaande maand niet gebruikt.

De verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de bronterm zijn:

- als massieke activiteiten van het hoofdkoelmiddel gelden de waarden zoals weergegeven in tabel 7.5.3.1/2 voor $R = 0$, omdat het TC-systeem een maand lang niet is gebruikt;
- als vrijzettingsgraad worden de waarden gehanteerd zoals weergegeven in tabel 7.5.3.1/2;
- alle edelgassen die gedurende 12,5 uur reiniging uit het hoofdkoelmiddel zijn verwijderd, circuleren nog in het afgassysteem en worden rechtstreeks en zonder vertraging naar de omgeving geloosd via het normale ventilatiesysteem (TL).

Afdekkende analyse

Voor PIE 8.2 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een c-ERU evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als de MOX evenwichtskern. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor c-ERU beschreven.

Bronterm

De bronterm voor deze PIE is weergegeven in tabel 7.5.5.6/1.

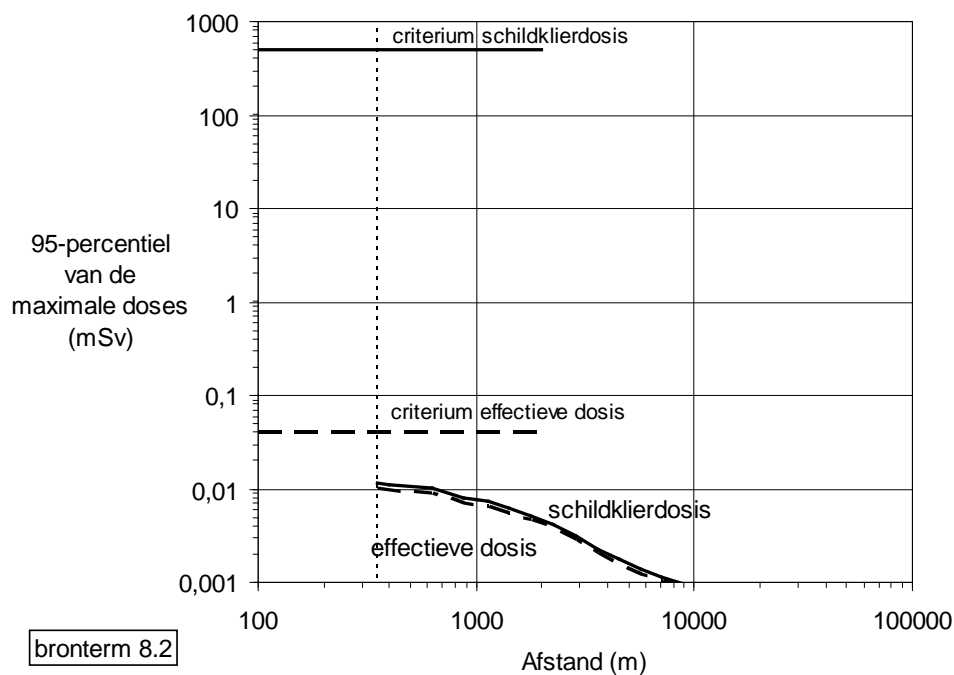
Tabel 7.5.5.6/1 Bronterm PIE 8.2: lekkage in een leiding van het afgassysteem

Bronterm 8.2 c-ERU

Nuclide	Activiteit (Bq)
^{85m}Kr	$5,01 \cdot 10^{12}$
^{85}Kr	$4,10 \cdot 10^{11}$
^{87}Kr	$2,83 \cdot 10^{12}$
^{88}Kr	$8,04 \cdot 10^{12}$
^{131m}Xe	$7,17 \cdot 10^{11}$
^{133m}Xe	$4,74 \cdot 10^{12}$
^{133}Xe	$1,06 \cdot 10^{14}$
^{135m}Xe	$4,38 \cdot 10^{11}$
^{135}Xe	$3,97 \cdot 10^{13}$
^{138}Xe	$1,17 \cdot 10^{12}$

Resultaten dosisberekeningen / toetsing aan de dosiscriteria

De resultaten van de dosisberekeningen voor PIE 8.2 zijn weergegeven in figuur 7.5.5.6/1.



Figuur 7.5.5.6/1 95-percentielwaarde van de maximale effectieve dosis en schildklierdosis voor eenjarige kinderen als functie van de afstand voor PIE 8.2

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,01 mSv. De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens en berekend voor kinderen is 0,012 mSv. Hiermee wordt voldaan de gestelde criteria (beschermingsdoelstellingen).

Tabel 7.5.5.6/2 Toetsing van de berekende 95-percentiel van de maximale doses (mSv) voor kinderen aan de geldende dosiscriteria voor PIE 8.2

	Dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E_{eff} (kind)	0,01	0,04	Ja
H_{th} (kind)	0,012	500	Ja

7.5.5.7 Beschadigingen van splijstofelementen tijdens het hanteren (PIE 8.4.1)

Beschermingsdoelstellingen

Gezien het kansbereik van dit ongeval ($10^{-1} > F \geq 10^{-2}$ per jaar), gelden de onderstaande dosiscriteria voor de meest restrictieve groep, namelijk kinderen:

- E_{eff} (kind) = 0,4 mSv;
- H_{th} = 500 mSv.

Ongevalseverloop en specifieke uitgangspunten

Het ongeval verloopt als volgt:

- tijdens onderwatertransport van het reactor- naar het splijststofopslagbassin (SOB) valt een splijstofelement, waarbij het element wordt beschadigd;
- het betreffende splijstofelement is gedurende 2,5 vollastjaren in de reactor ingezet. Het element is gedurende 3 etmalen afg ekoeld voordat het transport plaatsvindt;
- van het beschadigde element worden alle staven van een buitenrij beschadigd, in geval van de KCB 15 splijststofstaven. Daardoor komen de nucliden uit deze staven vrij in het bassin;
- gedurende 30 minuten wordt vanuit de ruimte via het bedrijfsventilatiesysteem TL02 naar de omgeving geloosd met een ventilatievoud van 0,25/uur. Na 30 minuten wordt de veiligheidsomhulling geïsoleerd en stopt de lozing.

De verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de bronterm zijn:

- de bij dit ongeval beschouwde radionucliden zijn ^{133}Xe , ^{131}I en ^{133}I ;
- uit de nuclideninventaris van de beschadigde splijstofelementen komen 10% van de edelgassen vrij in de atmosfeer van de veiligheidsomhulling en 5% van het jodium komt terecht in het bassinwater;
- de evenwichtsconcentratieverhouding tussen bassinwater (1.500 m^3) en lucht (20.000 m^3) is voor jodium $10^5:1$. Jodium in lucht is voor 90% in elementaire en voor 10% in organisch gebonden vorm aanwezig.

Afdekkende analyse

Voor PIE 8.4.1 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als c-ERU evenwichtskernen. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Bronterm

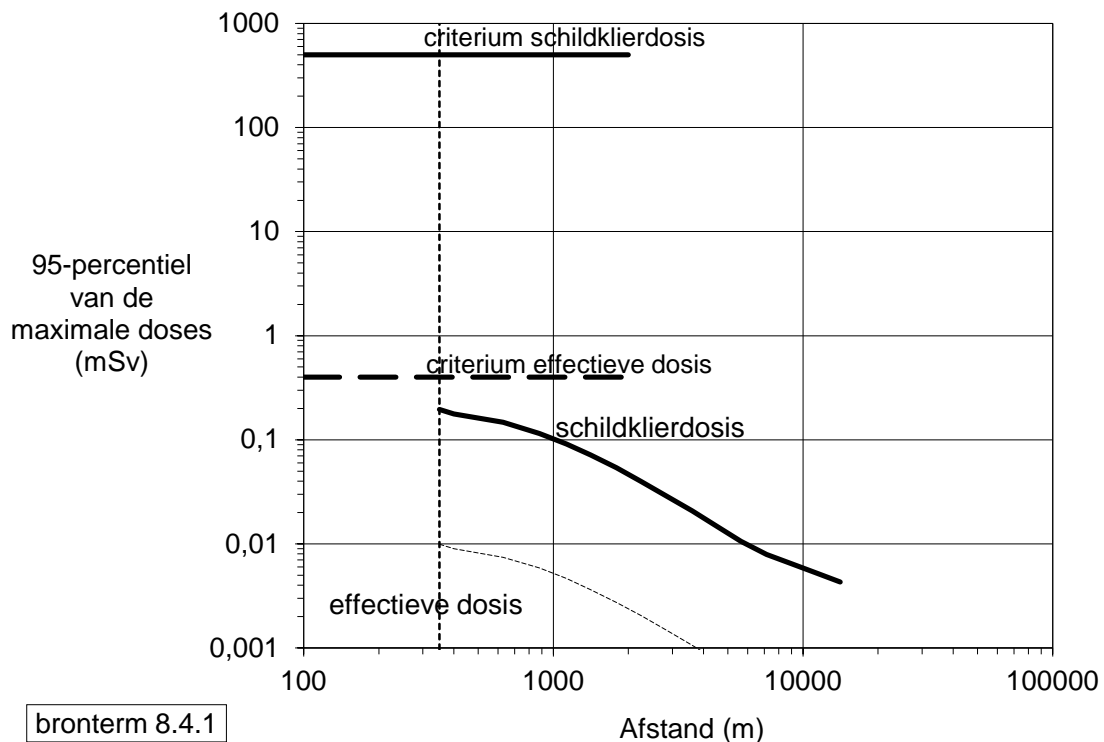
De bronterm voor deze PIE is weergegeven in tabel 7.5.5.7/1.

Tabel 7.5.5.7/1 Bronterm 8.4.1: beschadigingen van splijstofelementen tijdens het hanteren

Nuclide	Activiteit (Bq)
^{131}I	$5,2 \cdot 10^8$
^{133}I	$1,2 \cdot 10^8$
^{133}Xe	$1,3 \cdot 10^{13}$

Resultaten dosisberekeningen / toetsing aan de dosiscriteria

De resultaten van de dosisberekeningen voor PIE 8.4.1 zijn weergegeven in figuur 7.5.5.7/1.



Figuur 7.5.5.7/1 95-percentielwaarde van de maximale effectieve dosis en schildklierdosis voor eenjarige kinderen als functie van de afstand voor PIE 8.4.1

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,0099 mSv. De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens en berekend voor kinderen is 0,196 mSv. Hiermee wordt voldaan de gestelde criteria (beschermingsdoelstellingen).

Tabel 7.5.5.7/2 Toetsing van de berekende 95-percentiel van de maximale doses (mSv) voor kinderen aan de geldende dosiscriteria voor PIE 8.4.1

	Dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E_{eff} (kind)	0,0099	0,4	Ja
H_{th} (kind)	0,196	500	Ja

7.5.5.8 Gevolgen van een aardbeving op het reactorgebouw (PIE 9.1.2)

Beschermingsdoelstellingen

Gezien het kansbereik van dit ongeval ($10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ per jaar), gelden de onderstaande dosiscriteria voor de meest restrictieve groep, namelijk kinderen:

- E_{eff} (kind) = 4 mSv;
- H_{th} = 500 mSv.

Ongevalseverloop en specifieke uitgangspunten

Het ongeval verloopt als volgt:

- er is lekkage van de verdamperconcentraattanks (TT-tanks) van het hoofdkoelmiddelreinigingssysteem;

- één van de geheel gevulde TT-tanks loopt geheel leeg waardoor 12 m^3 verdamperconcentraat vrijkomt op de vloer van het reactorhulpgebouw. Van deze vloeistof verdampt 1%.

De verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de bronterm zijn:

- de massieke activiteiten van het verdamperconcentraat zijn voor de meeste nucliden, zoals corrosieproducten, onafhankelijk van de kerninventaris. Voor deze nucliden zijn de waarden (gemiddelden plus twee sigma) gebruikt die gebaseerd zijn op de bedrijfservaringen van de laatste tien jaar. De massieke activiteiten van ^{134}Cs en ^{137}Cs zijn geschaald met de kerninventaris;
- de nuclideconcentratie in het verdampte verdamperconcentraat bedraagt 5% van de concentratie in de niet-verdampte vloeistof, met uitzondering van jodium;
- de concentratieverhouding van jodium in water en lucht in de betreffende ruimte is $10^5:1$. Jodium komt voor 50% vrij in elementaire en voor 50% in organische verbindingen;
- het gebouw staat in open verbinding met de omgeving. Voor de bepaling van de radiologische gevolgen wordt uitgegaan van een ventilatievoud van het gebouw van 1x per dag. Er wordt gedurende 7 dagen geloosd.

Afdekkende analyse

Voor PIE 9.1.2 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als c-ERU evenwichtskernen. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Bronterm

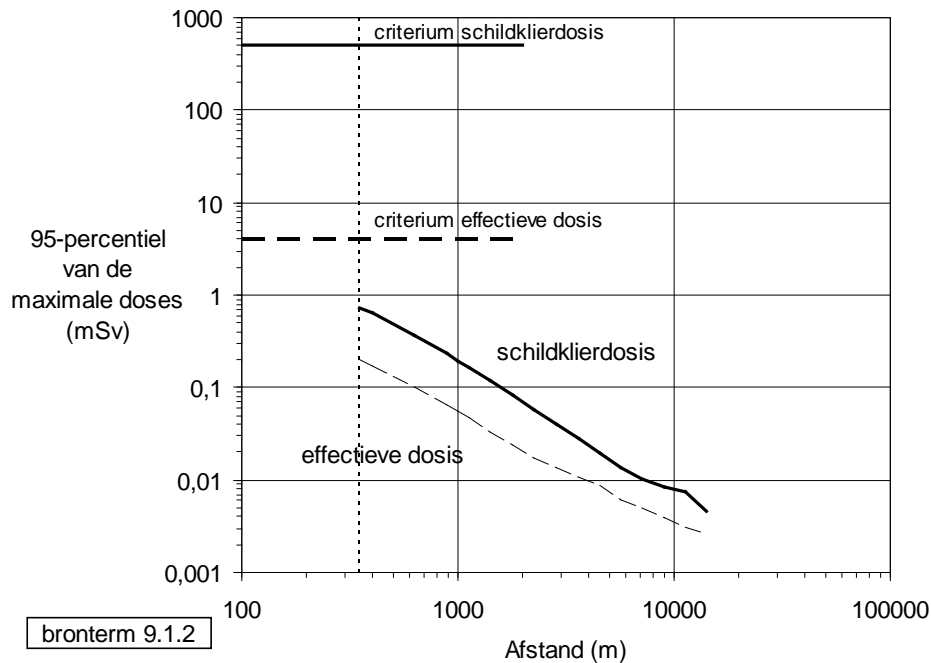
De bronterm voor deze PIE is weergegeven in tabel 7.5.5.8/1.

Tabel 7.5.5.8/1 Bronterm PIE 9.1.2: gevolgen van een aardbeving op het reactorgebouw

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
elementair		^{54}Mn	$8,0 \cdot 10^7$
^{131}I	$3,1 \cdot 10^8$	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$4,4 \cdot 10^6$
organisch		^{137}Cs	$1,7 \cdot 10^7$
^{131}I	$3,1 \cdot 10^8$	^{134}Cs	$5,5 \cdot 10^6$
^{60}Co	$2,4 \cdot 10^9$	^{57}Co	$5,1 \cdot 10^6$
^{58}Co	$3,2 \cdot 10^8$	^{24}Na	$1,9 \cdot 10^6$
^{124}Sb	$2,4 \cdot 10^7$	^{59}Fe	$6,4 \cdot 10^6$
^{51}Cr	$1,7 \cdot 10^8$	^3H	$5,8 \cdot 10^8$
^{95}Nb	$4,0 \cdot 10^7$	$^{123\text{m}}\text{Te}$	$8,6 \cdot 10^5$
		^{239}Np	$4,2 \cdot 10^5$

Resultaten dosisberekeningen / toetsing aan de dosiscriteria

De resultaten van de dosisberekeningen voor PIE 8.4.1 zijn weergegeven in figuur 7.5.5.8/1.



Figuur 7.5.5.8/1 95-percentielwaarde van de maximale effectieve dosis en schildklierdosis voor eenjarige kinderen als functie van de afstand voor PIE 9.1.2

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,20 mSv. De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens en berekend voor kinderen is 0,733 mSv. Hiermee wordt voldaan de gestelde criteria (beschermingsdoelstellingen).

Tabel 7.5.5.8/2 Toetsing van de berekende 95-percentiel van de maximale doses (mSv) voor kinderen aan de geldende dosiscriteria voor PIE 9.1.2

	Dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E_{eff} (kind)	0,20	4	Ja
H_{th} (kind)	0,733	500	Ja

7.5.5.9 Externe bestraling vanuit reactorgebouw (directe straling)

Bij twee van de radiologisch representatieve begingebourtenissen blijft er activiteit in de veiligheidsomhulling achter:

- lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2);
- breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3).

Bij deze ontwerpgevalen wordt slechts een gedeelte van de activiteit naar de omgeving geloosd. Personen in de omgeving kunnen echter ook worden blootgesteld aan gammastraling van de in de veiligheidsomhulling achterblijvende nucliden. Om de bijbehorende blootstellingsdosis te bepalen zijn voor beide ontwerpgevalen berekeningen met het programma MicroShield uitgevoerd. Voor de vaststelling van de activiteit in de atmosfeer van de veiligheidsomhulling is gebruik gemaakt van de vrijgekomen fracties van de kerninventaris zoals vermeld in paragraaf 7.5.5.2 en 7.5.5.3.

Bij de berekeningen is conservatief aangenomen dat de in de atmosfeer van de veiligheidsomhulling vrijgekomen activiteit gedurende 70 jaar aanwezig blijft. Dat wil zeggen dat aërosolen niet uitzakken en dat geen reinigingsoperaties worden verondersteld.

De afschermingsberekeningen zijn uitgevoerd voor een staaldikte van 2,5 cm (veiligheidsomhulling) en een betondikte van 60 cm (secundaire afscherming).

De dosis is berekend op de terreingrens, waarvoor een afstand is aangehouden van 350 m. Daarnaast is de dosis berekend op 1 km afstand (de plaats waar de meest nabijgelegen woning staat) en op 750 m afstand (het midden van het weiland tussen de centrale en het dorp Borssele waarbij wordt aangenomen dat een persoon zich gedurende 10 uur per dag buiten bevindt).

In geval van bewoning is een afschermingsfactor van 0,25 gehanteerd. Door verblijf binnen de woning wordt de persoon gedurende een deel van de dag afgeschermd. Daarnaast wordt voor kinderen gedurende de eerste 16 levensjaren een correctiefactor van 1,5 toegepast wegens de geringere lichaamsafmetingen.

Afdekkende analyse

Voor zowel PIE 7.2.2 als 7.2.3 is de dosis ten gevolge van blootstelling aan straling vanuit de veiligheidsomhulling behorende bij een c-ERU evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als MOX evenwichtskernen. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de analyses voor c-ERU beschreven.

Resultaten dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor PIE 7.2.2 en 7.2.3 voor wat betreft blootstelling aan straling vanuit de veiligheidsomhulling zijn opgenomen in tabel 7.5.5.9/1 voor de groep volwassenen en in tabel 7.5.5.9/2 voor de kritieke groep kinderen. De resultaten van de afzonderlijke analyses voor de ENU, c-ERU en MOX-evenwichtskern zijn verwerkt in de totale effectieve dosis en schildklierdosis zoals beschreven in de paragrafen 5.2 en 5.3.

Tabel 7.5.5.9/1 Externe dosis (mSv) voor een volwassen persoon door blootstelling aan straling vanuit de veiligheidsomhulling gedurende 70 jaar na het ongeval voor verondersteld verblijf / afstand tot centrale

Afstand	Verblijf	Dosis (mSv)	
		PIE 7.2.2	PIE 7.2.3
350 m	Bewoning	$2,4 \cdot 10^{-4}$	1,3
750 m	10 uur/dag	$3,7 \cdot 10^{-6}$	0,034
1000 m	Bewoning	$5,1 \cdot 10^{-7}$	0,0057

Tabel 7.5.5.9/2 Externe dosis (mSv) voor de kritieke groep van kinderen door blootstelling aan straling vanuit de veiligheidsomhulling gedurende 70 jaar na het ongeval voor verondersteld verblijf / afstand tot centrale

Afstand	Verblijf	Dosis (mSv)	
		PIE 7.2.2	PIE 7.2.3
350 m	Bewoning	$8,0 \cdot 10^{-5}$	0,47
750 m	10 uur/dag	$2,2 \cdot 10^{-6}$	0,022
1000 m	Bewoning	$1,9 \cdot 10^{-7}$	0,0021

Het dosistempo is op de eerste dag hoog, vooral door de aanwezigheid van kortlevende edelgassen. Daarna neemt het dosistempo snel af, totdat het uiteindelijk wordt bepaald door voornamelijk ¹³⁷Cs. De grootste dosisbijdrage wordt in de eerste dagen ontvangen.

De dosis neemt af met toenemende afstand tot de centrale vanwege absorptie in lucht en vanwege de grotere afstand (kwadratenwet).

7.6 OVERIGE DETERMINISTISCHE ANALYSES

7.6.1 Inleiding

In paragraaf 7.6.2 worden de overige of andersoortige analyses zoals uitgevoerd voor de relevante representatieve begingebourtenissen vermeld in paragraaf 7.3 behandeld.

In paragraaf 7.6.3 zijn de containmentanalyses (veiligheidsomhulling) opgenomen voor zover deze betrekking hebben op verificatie van de uitgangspunten gebruikt in de veiligheidsanalyses en de beschikbaarheid van ongevalsbestendige apparatuur. Het betreft:

- bepaling van de minimale lekdebieten voor het aanspreken van het 30 mbar signaal in het reactorbeveiligingssysteem (drukopbouw in veiligheidsomhulling);
- bepaling van het druk- en temperatuurverloop in de veiligheidsomhulling bij een lekkage in het primair of secundair systeem.

7.6.2 Overige deterministische analyses voor representatieve begingebourtenissen

7.6.2.1 Vorming van laag-geboreerde gebieden in het primair systeem (interne verdunning) (PIE D3-20)

Voor dit ongeval dienen de volgende beschermingsdoelstellingen te worden vervuld:

- handhaving van ondercriticaliteit op lange termijn;
- handhaving van langdurige afvoer van vervalwarmte.

Bij dit ongeval is er sprake van interne verdunning als gevolg van *reflux condensing*. *Reflux condensing* is een fenomeen dat kan optreden als het primair systeem niet meer volledig met koelmiddel (water) is gevuld. In dat geval kan de vervalwarmte van de kern toch naar de omgeving naar worden afgevoerd door het voortdurend verdampen (in de kern) en condenseren (in de stoomgenerator) van het hoofdkoelmiddel. Middels *reflux condensing* is aan de beschermingsdoelstelling ten aanzien van de langdurige afvoer van vervalwarmte voldaan.

Door het verdampen en condenseren blijft het borium achter en ontstaan grote hoeveelheden laag-geboreerd water met mogelijke gevolgen voor de (onder)kritikaliteit van de reactor. Middels een CFD-analyse (*Computational Fluid Dynamics*) is voor de KCB aangetoond dat als gevolg van de menging van het geboreerd en laag-geboreerd water het onwaarschijnlijk is dat de reactor onder de gegeven condities weer kritisch zal worden. Hiermee wordt voldaan aan de beschermingsdoelstelling ten aanzien van de handhaving van ondercriticaliteit.

7.6.2.2 Breuk van een regelstaafbehuizing met uitworp van een regelstaaf (PIE D3-42)

De impact van een breuk van een regelstaafbehuizing (PIE D3-42) wordt met betrekking tot reactiviteit en lekkage van het primair systeem door PIE 5.2 (uitworp van de meest effectieve regelstaaf) en PIE 7.2.2 (lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling) afgedekt.

Voor dit ongeval moet aanvullend worden aangetoond dat de mechanische effecten ten gevolge van de breuk van een regelstaafbehuizing worden beheerst. Dat wil zeggen dat de brokstukken nabijgelegen veiligheidsrelevante structuren, systemen of componenten niet zodanig mogen beschadigen dat deze niet meer functioneel zijn.

Het aspect van mogelijke schade aan veiligheidsrelevante systemen door het wegslingeren van een aandrijving en aandrijfstangen als gevolg van een breuk van een regelstaafstomp is beschouwd. De aangenomen breuk wordt verondersteld op te treden in de regelstaafomhullingspijp met de grootste diameter, waarmee tevens breukaannames in de standaardwijzingspijp en de aandrijfstoppen met kleinere diameter afgedekt zijn. Bij de veronderstelde totaalbreuk ter plaatse van het reactorvat, werken zuiger- en straalkrachten op relatief lange versnellingswegen zodat aandrijving en aandrijfstangen als projectiel loodrecht naar boven tegen de afdekbalk vliegen, zich daar vervormen en op de kabelbrug terug vallen. Zij beschadigen hiermee niet de overige aandrijvingen en aandrijfstangen.

Op basis van een voor de installatie in Grafenrheinfeld (DWR 1300) door Siemens KWU uitgevoerd onderzoek aan de hand van een conservatieve methode, is de diepte dat een aandrijving en aandrijfstangen in het beton van een afdekbalk kan doordringen berekend op 0,40 m. De afdekbalk van de installatie te Borssele is met een dikte van 1,10 m derhalve voldoende gedimensioneerd.

Voor de hiervoor vermelde DWR 1300 installatie is een verplaatsing van 3 mm voor de afdekbalk berekend. De afdekbalk van de installatie te Borssele, met een gewicht van 2/3 van dat van de DWR 1300 installatie, blijft derhalve zeker in zijn positie liggen.

7.6.3 Containmentanalyses

7.6.3.1 Minimale lekdebieten voor het aanspreken van het 30 mbar signaal

In het reactorbeveiligingssysteem wordt gebruik gemaakt van het zogenaamde 30 mbar signaal. Dit signaal geeft aan dat de druk in het veiligheidsomhulling tenminste 30 mbar boven de normale omgevingsdruk ligt. Aangezien de veiligheidsomhulling bij normaal bedrijf op onderdruk ten opzicht van de omgevingsdruk staat, is het aanspreken van het 30 mbar signaal een indicatie voor drukopbouw in de veiligheidsomhulling ten gevolge van een lekkage in het primair of secundair systeem. In dat geval wordt de reactor door het reactorbeveiligingssysteem afgeschakeld en vindt gebouwafsluiting plaats (waaronder afsluiting van het nucleair ventilatiesysteem).

Daarnaast is het 30 mbar signaal in combinatie met een hoofdkoelmiddeldruk van minder dan 117 bar een van de noodkoelcriteria waarop het signaal "kerninundatievoorbereiding" van het reactorbeveiligingssysteem aanspreekt.

In het RELAP5-model van de KCB, zoals gebruikt voor de thermohydraulische analyses beschreven in paragraaf 7.4, is het nucleair ventilatiesysteem niet opgenomen. De veiligheidsomhulling is bovendien sterk vereenvoudigd gemodelleerd. Om deze redenen is het aanspreken van het 30 mbar signaal bij RELAP5-berekeningen niet nauwkeurig gemodelleerd en niet noodzakelijkerwijs conservatief.

Voor het aanspreken van het 30 mbar signaal zijn daarom met behulp van het rekenprogramma WAVCO gedetailleerde berekeningen uitgevoerd zodat kan worden geverifieerd of de met RELAP5 uitgevoerde berekeningen afdekkend zijn. Concreet zijn voor verschillende leklocaties de minimale lekdebieten en tijden bepaald waarbij het 30 mbar signaal aanspreekt. Uit de berekeningen blijkt dat het benodigde stoomdebiet om het aanspreken van het 30 mbar signaal te bereiken kleiner is dan de in paragraaf 7.4 beschouwde lekkages. Bovendien worden in deze analyses de noodkoelcriteria bereikt ten gevolge van het aanspreken van het signaal "primaire druk kleiner dan 117 bar en niveau in de drukhouder kleiner dan 1,17 m".

7.6.3.2 Druk- en temperatuurverloop in de veiligheidsomhulling bij een lekkage in het primair systeem

De veiligheidsomhulling heeft onder meer tot doel het vrijkomen van radioactieve stoffen naar de omgeving te beperken tot beneden aanvaardbare grenzen (zie paragraaf 6.3). Dit dient te zijn gewaarborgd tijdens normaal bedrijf en bij mogelijke ongevallen, in het bijzonder bij ongevallen met verlies van koelmiddel. Daarom dient voor dit type ongevallen te worden aangetoond dat de druk- en temperatuurstijging onder de ontwerpwaarden van de veiligheidsomhulling blijven.

Het ontwerpongeval ten aanzien van de maximale druk en temperatuur in de veiligheidsomhulling is een ongeval met volledige breuk van een hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3: Breuk van een hoofdkoelmiddelleiding). Dit ontwerpongeval is ten aanzien van de druk- en temperatuurbelastingen van de veiligheidsomhulling afdekkend voor de andere ontwerpongevallen. Lekkages van het secundair systeem zijn separaat beschouwd (zie paragraaf 7.6.3.3).

Met behulp van het rekenprogramma COCO zijn voor verschillende breuklocaties van een hoofdkoelmiddelleiding de maximaal in de veiligheidsomhulling te verwachten druk en temperatuur bepaald. De grootste energieafgifte van het primaire systeem vindt plaats bij een breuk in het hete been van de hoofdkoelmiddelleiding. Dit resulteert in een druk binnen de veiligheidsomhulling van maximaal 4,34 bar. De temperatuur van de atmosfeer binnen de veiligheidsomhulling overschrijdt kortstondig 130 °C met als maximale waarde 135 °C. Vanwege de korte tijdsduur blijft de temperatuur van de stalen veiligheidsomhulling zelf echter onder de ontwerpwaarde van 130 °C. De temperatuur van de stalen veiligheidsomhulling bedraagt voor dit type ongeval maximaal 105 °C.

De bestendigheid van de veiligheidsomhulling tegen overdruk en temperatuur is bij het ontwerp door middel van berekeningen vastgelegd (zie paragraaf 6.3). De ontwerpwaarden die uit deze berekeningen volgen zijn 4,80 bar en 130 °C. Deze waarden liggen boven de maximale waarden die bij het ontwerpongeval (PIE 7.2.3) optreden zodat de bestendigheid van de veiligheidsomhulling is aangetoond.

De analyseresultaten zijn ook gebruikt om te toetsen of de omgevingscondities in de veiligheidsomhulling overeenkomen met, of gunstiger zijn dan, de condities die gebruikt worden voor de kwalificatie van ongevalsbestendige apparatuur (zie paragraaf 5.7).

Het blijkt dat de berekende drukken en temperaturen onder de curven liggen die voor de kwalificatie van ongevalsbestendige apparatuur worden gebruikt en dus gunstiger zijn. Hierdoor is het functioneren van de ongevalsbestendige apparatuur zekergesteld.

7.6.3.3 Druk- en temperatuurverloop in de veiligheidsomhulling bij een lekkage in het secundair systeem

Vergelijkbaar met het ontwerpongeval beschreven in paragraaf 7.6.3.2 is de maximale druk en temperatuur in de veiligheidsomhulling voor een ongeval met een lekkage van een hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling geanalyseerd (PIE 1.5.6). Hierbij is de veronderstelde lekgrootte van 60 cm² zodanig gekozen dat het lek niet leidt tot het aanspreken van het reactorbeveiligingssysteem (YZ). Hierdoor vindt geen automatische isolatie van het lek plaats en kan in totaal circa 135.000 kg stoom in de veiligheidsomhulling vrijkomen. Dit resulteert in een druk binnen de veiligheidsomhulling van maximaal 4,60 bar, welke lager is dan de ontwerpwaarde van 4,80 bar. De temperatuur van de stalen veiligheidsomhulling overschrijdt met 134 °C kortstondig de ontwerpwaarde van 130 °C. Gelet op de vele conservatieve uitgangspunten bij deze analyse en het gegeven dat in de praktijk de temperatuuroverschrijding door uitvoering van de

ongevulsbeheerprocedures zal worden voorkomen, is de integriteit van de veiligheidsomhulling zeker gesteld.

Vergelijkbaar met de situatie voor een lekkage in het primaire systeem geldt voor een lekkage in het secundaire systeem eveneens dat de berekende drukken en temperaturen onder de curven liggen die voor de kwalificatie van ongevalsbestendige apparatuur worden gebruikt. Hierdoor is het functioneren van de ongevalsbestendige apparatuur bij zowel een lekkage in het primair systeem als het secundair systeem binnen de veiligheidsomhulling zeker gesteld.

7.7 VEILIGHEIDSANALYSES VOOR BUITENONTWERPONGEVALLLEN

7.7.1 Inleiding

In paragraaf 7.7 worden de buitenontwerpongevallen behandeld. Het betreft die ongevallen die zijn opgenomen in de aanvullende lijst met begingebourtenissen (zie paragraaf 7.2).

In tegenstelling tot de eerder behandelde veiligheidsanalyses voor normaal bedrijf, storingen en ontwerpongevallen zijn er geen eenduidige acceptatiecriteria waar buitenontwerpongevallen aan moeten worden getoetst. Soms worden dezelfde acceptatiecriteria als voor de ontwerpongevallen gebruikt, waarbij de analyses met een *best-estimate* model en met *best-estimate* begincondities en randvoorwaarden worden uitgevoerd, of wordt een overschrijding van de acceptatiecriteria geaccepteerd zolang er geen sprake is van significante kernschade. De ATWS-analyses (zie paragraaf 7.7.2.1.1) zijn bijvoorbeeld volgens de eerste benadering uitgevoerd.

Een andere wijze voor het kunnen beheersen van buitenontwerpongevallen is het dermate verkleinen van de kans van optreden, zodat optreden van het ongeval niet meer hoeft te worden verondersteld en daardoor niet meer deterministisch wordt beschouwd. Voor de buitenontwerpongevallen opgenomen in de aanvullende lijst (zie tabel 7.2.3/1 van paragraaf 7.2) met uitzondering van ATWS, wordt daarom vooral ingegaan op de systemen/procedures die de kans op optreden van het ongeval verkleinen. De buitenontwerpongevallen opgenomen in de basislijst (zie tabel 7.2.2/1 van paragraaf 7.2) zijn behandeld in paragraaf 7.4.

De laatste optie voor het kunnen beheersen van buitenontwerpongevallen is het zoveel mogelijk beperken van de nadelige gevolgen. In paragraaf 7.7.3 worden enkele specifiek voor KCB uitgevoerde analyses ter onderbouwing van de ongevalsbeheerstrategieën primaire en secundaire *bleed & feed* gepresenteerd. Deze strategieën kunnen worden gebruikt voor de beheersing van buitenontwerpongevallen en ook voor de beheersing van ernstige ongevallen.

7.7.2 Aanvullende begingebourtenissen

7.7.2.1 Begingebourtenissen ten aanzien van het reactorsysteem

7.7.2.1.1 ATWS

Tot de transiënten waarbij het uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) behoren de volgende begingebourtenissen:

- uitval van mogelijkheid om warmte af te voeren door bijvoorbeeld verlies van condensorvacuüm of sluiten van hoofdstoomafsluiters, tijdens eilandbedrijf (D4a-01);
- uitval van mogelijkheid om warmte af te voeren en uitval eigen spanningsvoorziening (D4a-02);
- maximale stoomafname door bijvoorbeeld het openen van de omloop- of veiligheidskleppen (D4a-03);
- volledige uitval van de hoofdvoedingswatervoorziening (D4a-04);
- maximale afname van het hoofdkoelmiddeldebiet (D4a-05);
- maximale reactiviteitstoename door het uittrekken van regelstaven of regelstaafgroepen uitgaande van de bedrijfstoestanden vollast of warm onderkritisch (D4a-06);
- drukontlasting door onbedoeld openen van een drukhouderveiligheidsklep (D4a-07);
- maximale afname van de reactorintredetemperatuur als gevolg van een fout in de een van de actieve componenten van de voedingswatervoorziening (D4a-08).

In paragraaf 7.4.4.18 is door middel van een thermohydraulische analyse voor PIE 10.5 aangetoond dat dit ongeval in voldoende mate kan worden beheerst. PIE 10.5 komt overeen met de begingebuurtenis D4a-04, waarbij volledige uitval van de hoofdvoedingswatervoorziening wordt verondersteld. In deze situatie vindt de maximale afvoer van warmte naar de stoomgeneratoren plaats, doordat de hoofdkoelmiddelpompen in bedrijf blijven. Daarnaast is er sprake van een snelle afname van het hoofdvoedingswaterdebiet, waardoor de warmteafvoer van de stoomgeneratoren sterk afneemt.

Om onder andere de invloed van het functioneren van de hoofdkoelmiddelpompen op het ongevalsverloop te onderzoeken is een additionele thermohydraulische analyse uitgevoerd waarbij uitval van de eigen spanningsvoorziening (noodstroomsituatie) is verondersteld. In deze situatie vallen de hoofdkoelmiddelpompen uit, waardoor de warmteafvoer alleen via natuurlijke circulatie in het primair systeem mogelijk is.

De beide analyses zijn afdekkend voor het totale spectrum aan ATWS-varianten (D4a-01 t/m D4a-08). De analyse waarbij volledige uitval van de hoofdvoedingswatervoorziening wordt verondersteld is bepalend voor de maximaal te bereiken koelmiddeldruk; de analyse waarbij een noodstroomsituatie wordt verondersteld is bepalend voor de maximaal te bereiken splijststofomhullingstemperatuur.

Noodstroomsituatie met ATWS

Doel van de ongevalsanalyse

Bij dit ongeval wordt verondersteld dat de regelementen noch door aansturing via de regeling noch door RESA-signalen in beweging komen. In dit geval wordt het ongeval ingeleid door uitval van de eigen spanningsvoorziening (noodstroomsituatie), waardoor onder andere de hoofdkoelmiddel- en hoofdvoedingswaterpompen uitvallen. Dit zal in combinatie met ATWS tot een sterke toename van de hoofdkoelmiddeldruk leiden. De analyse van dit ongeval, dat in een korte tijd afloopt, moet aantonen dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de warmteafvoer moet gegarandeerd zijn;
- handhaving van de langdurige onderkritikaliteit;
- de temperatuur van de splijststofomhulling mag niet hoger worden dan 1200°C;
- de plaatselijke oxidatie van de splijststofomhulling moet minder zijn dan 17 %.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aan de primaire zijde;
- afblaasstation voor de drukbeveiling van de secundaire zijde;
- noodstroomverzorgingsinstallatie;
- noodvoedingswatersysteem (RL) voor het zeker stellen van de warmteafvoer uit de stoomgeneratoren;
- volumeregelsysteem (TA), nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) voor het handhaven van de langdurige onderkritikaliteit.

Begin- en randvoorwaarden

Bij de ATWS-analyses wordt het falen van de regelementen aangenomen, hetgeen wil zeggen dat de regelementen noch door aansturing via de regeling noch door RESA-signalen in beweging komen. Dit betekent, dat bij het bereiken van een grenswaarde die tot een RESA-signaal leidt, de regelementen niet vallen. Verder wordt het uitvallen van de eigen spanningsvoorziening (noodstroomsituatie) verondersteld.

Omdat in het geval van ATWS de vermogensreductie in het begin alleen door terugkoppelingen op de reactiviteit veroorzaakt wordt, is de kerntoestand bij cyclusbegin ongunstig voor het verloop van het ongeval; dit omdat de hoofdkoelmiddeltemperatuurs-coëfficiënt door de afnemende concentratie geboreerd water aan het cycluseinde steeds sterker negatief wordt.

Bij het begin van het ongeval is de installatie op vol vermogen.

Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het uitvallen van de eigen spanningsvoorziening (noodstroomsituatie) zijn de hoofdkoelmiddel- en hoofdvoedingswaterpompen alsmede het turbine-omloopstation niet langer beschikbaar. Door de uitval van de hoofdvoedingswaterpompen worden weliswaar de noodvoedingswaterpompen gestart, maar volgens de voorgeprogrammeerde procedure van de dieselaggregaten gebeurt dit met een tijdvertraging, waardoor de stoomgeneratoren tijdelijk niet met water worden gevoed.

De uitval van de hoofdkoelmiddelpompen leidt tot RESA op basis van het bereiken van de reactorbeveiligingsgrenswaarde "toerental beide hoofdkoelmiddelpompen < min". Als gevolg van de veronderstelde ATWS volgt echter geen inworp van regelementen. Door het aanspreken van ATWS worden 2 volumeregelpompen (TA) en 2 pompen voor geboreerd water (TB) gestart. Als gevolg van de noodstroomsituatie vindt de start niet direct, maar vertraagd plaats (circa 17 seconden na aanvang noodstroomsituatie).

De warmteafvoer aan de secundaire zijde vindt, vanwege de uitval van het turbine-omloopstation, plaats over de door noodstroom gevoede afblaaskleppen en de veiligheidskleppen. De hoofdstoomdruk en de hoofdstoomtemperatuur nemen daarbij sterk toe tot het aanspreken van de afblaaskleppen en veiligheidskleppen.

De maximale hoofdstoomdruk wordt ongeveer 35 seconden na aanvang van de noodstroomsituatie bereikt en bedraagt circa 91,8 bar.

Als gevolg van de slechte warmteafvoer aan de secundaire zijde en het nog steeds hoge reactorvermogen stijgen de hoofdkoelmiddeltemperatuur, de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder. De drukstijging van het hoofdkoelmiddel als gevolg van de temperatuurstijging wordt begrensd door het aanspreken van de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder. Vanwege de uitval van de hoofdkoelmiddelpompen, is de drukhoudersproei nauwelijks effectief om de koelmiddeldruk te verlagen. De maximale koelmiddeldruk wordt ongeveer 12 seconden na aanvang van de noodstroomsituatie bereikt en bedraagt circa 178,2 bar.

De temperatuurverhoging in het primair systeem heeft, door de negatieve temperatuurscoëfficiënt, een afname van de reactiviteit en daarmee van het reactorvermogen tot gevolg. Tussen circa 140 en 200 seconden treedt er enige stoomvorming in de kern op. Dit veroorzaakt enige schommelingen in de reactiviteit, het reactorvermogen en de hoofdkoelmiddeldruk, -temperatuur en -debiet.

Een duidelijke afname van het reactorvermogen treedt op als geboreerd water vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) in het primair systeem wordt gedoseerd. Hiermee wordt ook de langdurige onderkritikaliteit gerealiseerd.

Vanaf circa 400 seconden na aanvang van de noodstroomsituatie is het reactorvermogen zo ver afgenomen dat het door de noodvoedingswaterpompen geleverde debiet voldoende is om de stoomgeneratoren weer langzaam op te vullen.

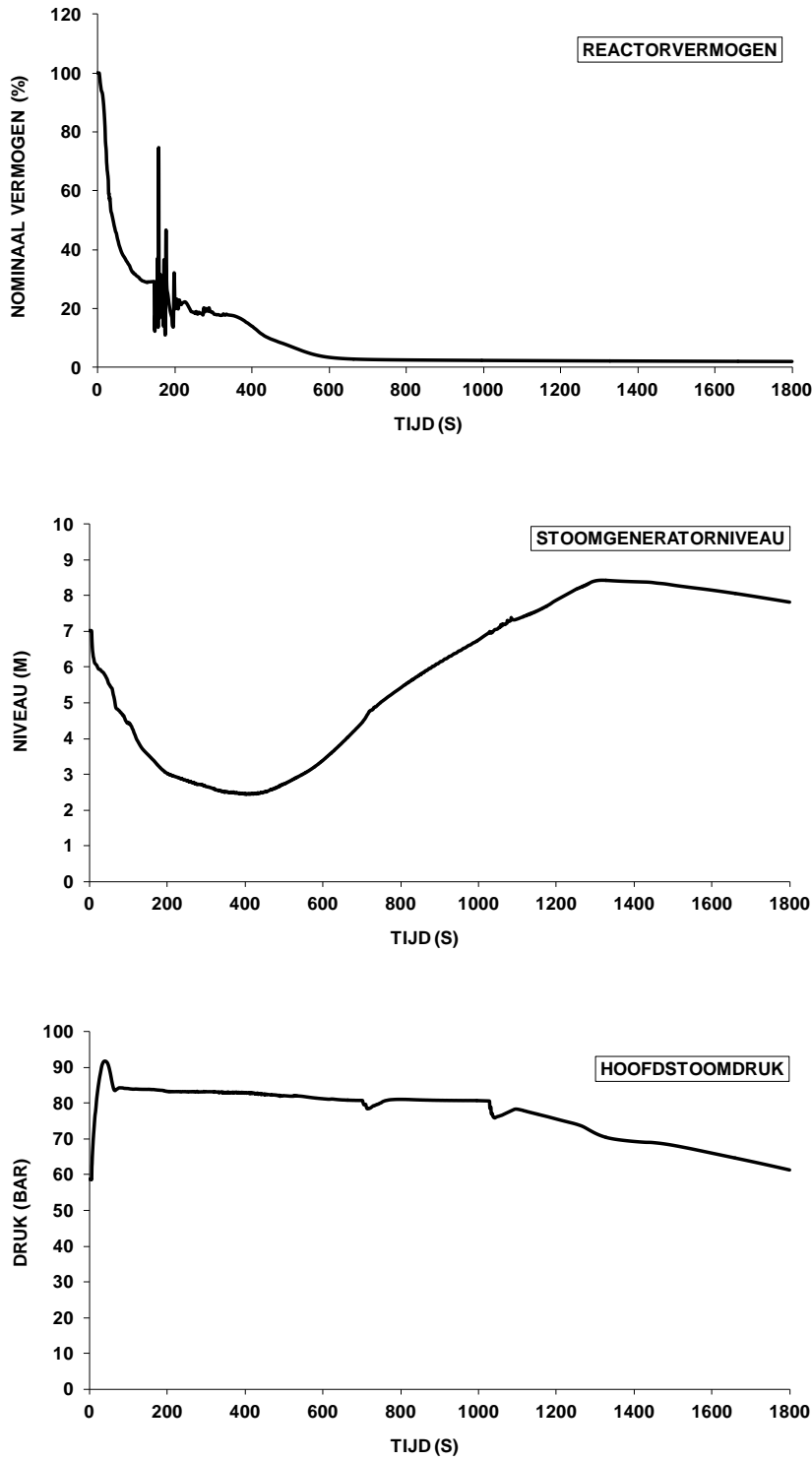
Door middel van een heetkanaalanalyse zijn de maximale temperatuur en de oxidatie van de splijtstofomhulling bepaald. Deze bedragen respectievelijk circa 1120 °C en 2%.

Resultaat

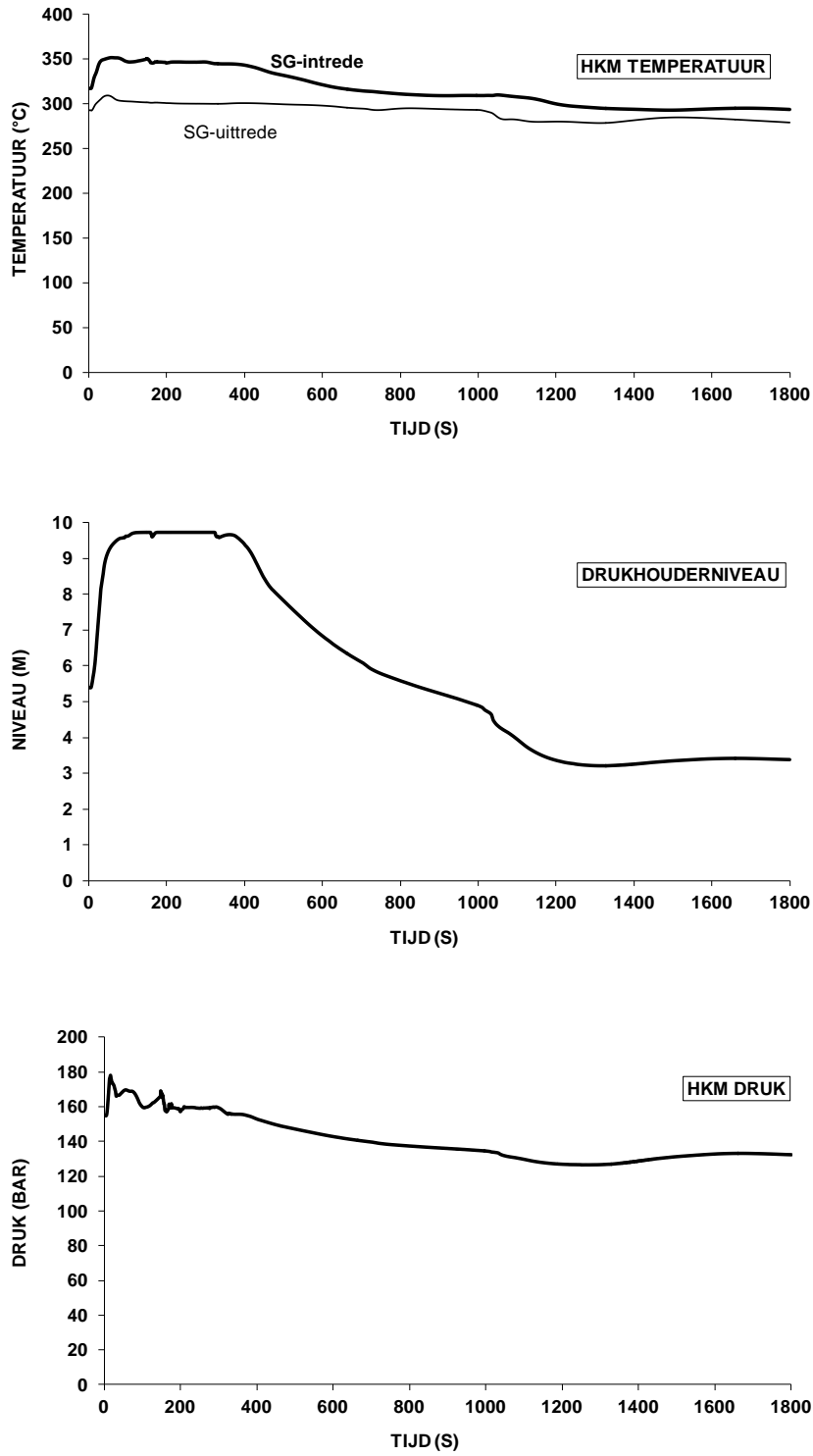
De analyse toont aan, dat de maximaal bereikte waarden voor de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk lager zijn dan de bij dit ongeval maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk, circa 230 bar respectievelijk circa 118 bar). De warmteafvoer is gegarandeerd door de toegevoerde hoeveelheid noodvoedingswater en de langdurige onderkritikaliteit is gerealiseerd door toevoeging van geboreerd water vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

De grenswaarden voor de maximale temperatuur en de maximale plaatselijke oxidatie van de splijstofomhulling worden niet overschreden.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 7.7.2.1.1/1 Noodstroomsituatie waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS)



Figuur 7.7.2.1.1/2 Noodstroomsituatie waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS)

7.7.2.1.2 **Station black out (SBO; volledige uitval van alle spanningsvoorziening met uitzondering van batterijvoedingen) (F-2)**

Volledige uitval van alle spanningsvoorziening (*station black out; F-2*) wordt voor de KCB als zeer onwaarschijnlijk beschouwd, gelet op het grote aantal verschillende mogelijkheden om in spanning te kunnen voorzien.

De KCB beschikt bij uitval van het normale bedrijfsnet in eerste instantie over het noodstroomnet 1. Dit is een redundant uitgevoerd systeem dat bestand is tegen invloeden van binnenuit. In tweede instantie beschikt de KCB over het noodstroomnet 2. Dit systeem is redundant uitgevoerd en onafhankelijk van noodstroomnet 1. Het systeem is bestand tegen zowel invloeden van binnenuit als van buitenaf (zoals overstroming en aardbeving). De beschikbare dieselvorraden op het KCB-terrein zijn voldoende om de noodstroomdiesels gedurende meerdere dagen (autonoom) te kunnen laten functioneren (zie paragraaf 6.5). In derde instantie heeft de KCB aansluitingen voor en de beschikking over een mobiele dieselgenerator (EY080) en zijn er voorzieningen getroffen voor aanvoer van externe dieselgeneratoren. Voor deze situaties zijn noodprocedures aanwezig.

7.7.2.1.3 **Volledig verlies van voedingswater (F-3)**

Volledig verlies van voedingswater (F-3) wordt voor de KCB als zeer onwaarschijnlijk beschouwd, gelet op het grote aantal verschillende mogelijkheden om in voedingswater te kunnen voorzien.

De KCB beschikt bij uitval van het hoofdvoedingsstelsel in eerste instantie over het noodvoedingswatersysteem (RL-nood). Dit systeem is uitgevoerd met 3 pompen (elektrisch en turbine aangedreven) en bestand tegen invloeden van binnenuit. In tweede instantie beschikt de KCB over het secundair reservesuppletiesysteem (RS). Dit systeem is redundant uitgevoerd en onafhankelijk van het noodvoedingswatersysteem (RL-nood). Het systeem is bestand tegen zowel invloeden van binnenuit als van buitenaf (zoals overstroming en aardbeving). In derde instantie heeft de KCB aansluitingen voor en de beschikking over alternatieven betreffende watertoevoer (brandbeheersvoorzieningen en systemen zoals deminwatersuppletiesysteem) en waterbronnen (naast brandbeheersvoorzieningen bijvoorbeeld voedingswatervoorraadtank RL, deminwatersuppletietank RZ en deminwateraanmaaktank UA). Voor deze situaties zijn noodprocedures aanwezig, waarin ook andere mogelijkheden zoals secundaire feed en bleed worden beschreven (zie paragraaf 7.7.3 en andere Accident Management strategieën volgens de Severe Accident Management Guidelines in paragraaf 12.3).

7.7.2.1.4 **Lekkage in het primair systeem met uitval van een volledige strang van het veiligheidsinjectiesysteem (F-4)**

Lekkage in het primaire systeem met uitval van een volledige strang van het kerninundatiesysteem (F-4) wordt voor de KCB als zeer onwaarschijnlijk beschouwd, gelet op de kwalificatie van zowel de hoofdkoelmiddelleidingen (YA) als de volumevereffeningsleiding (YP) en de scheiding van de strangen van het kerninundatiesysteem alsmede beschikbare alternatieven voor primaire koeling.

In paragraaf 5.9 is beschreven dat de hoofdkoelmiddelleidingen (YA) en de volumevereffeningsleiding (YP) gekwalificeerd zijn voor lek voor breuk. Deze kwalificatie houdt in dat een dergelijke leiding eerst een geringe lekkage zal vertonen, waarna het nog geruime tijd duurt voordat de leiding mogelijk open breekt. Met de beschikbare systemen bij de KCB wordt een dergelijke kleine lekkage snel gedetecteerd. De omvang van zo'n lekkage is gering en kan zowel met het kerninundatiesysteem (TJ) als het primair reservesuppletiesysteem (TW) worden beheerd. De vervalwarmte kan secundairzijdig worden afgevoerd met het noodvoedingswatersysteem (RL-nood) of het secundair reservesuppletiesysteem (RS).

Het kerninundatiesysteem (TJ) bestaat uit twee strangen. Een strang bestaat uit twee hoge druk en twee lage druk pompen die zich in twee aparte ruimtes bevinden. Ieder van de twee pompen wordt gevoed door een verschillende elektrische rail. Uitval van een gehele strang (beide pompen) is onwaarschijnlijk. Het primair reservesuppletiesysteem (TW) heeft voldoende capaciteit en watervoorraad om de functie van het TJ-systeem in deze situatie te kunnen overnemen.

Voor de lange termijn koeling is de reservenkoelketen (TE/TG080/VE) beschikbaar. Hiermee kan 13 uur na afschakeling van de reactor de vervalwarmte worden afgevoerd (zie VR15-06-03-05).

7.7.2.1.5 Volledig verlies van het tussenkoelwatersysteem (F-6)

Volledig verlies van het tussenkoelwatersysteem (F-6) wordt voor de KCB als onwaarschijnlijk beschouwd, gelet op het grote aantal verschillende mogelijkheden om secundairzijdig de warmte af te voeren en het beschikbaar zijn van een alternatief (TE/VE) voor het tussenkoelwatersysteem, worden beheerst.

Bij verlies van het tussenkoelwatersysteem zal de reactor automatisch afschakelen. De vervalwarmte wordt afgevoerd via de stoomgeneratoren. Hiervoor zijn vele mogelijkheden beschikbaar (zie paragraaf 7.7.2.1.3). Na 13 uur en als de primaire druk en temperatuur voldoende gedaald zijn, kan de reservenkoelketen (TE/TG080/VE) het primair systeem verder afkoelen tot de bedrijfssituatie koud onderkritisch.

Falen van de reservenkoelketen (TE/TG080/VE) wordt voor de KCB als onwaarschijnlijk beschouwd, gelet op de uitvoering van het systeem (zie paragraaf 6.3 en paragraaf 6.6) en de beschikbaarheid bij de KCB van aansluitingen voor en aanwezigheid van alternatieven betreffende watertoevoer en waterbronnen (bijvoorbeeld brandbeheersvoorzieningen). Voor deze situaties zijn noodprocedures aanwezig (zie Accident Management strategieën volgens de Severe Accident Management Guidelines in paragraaf 12.3).

7.7.2.1.6 Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren (F-9)

Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren (F-9) wordt voor de KCB als zeer onwaarschijnlijk beschouwd, gelet op het grote aantal verschillende mogelijkheden om hierin te voorzien.

Warmteafvoer vindt in eerste instantie plaats met het secundair systeem via de stoomgeneratoren. De verschillende mogelijkheden om de stoomgeneratoren van water te voorzien en zodoende te de warmte te kunnen afvoeren zijn beschreven in paragraaf 7.7.2.1.3. In tweede instantie vindt warmteafvoer plaats via de nakoelketen (TJ/TF/VF). Als de nakoelketen uitvalt is in paragraaf 7.7.2.1.5 beschreven hoe de koeling met de reservekoelketen (TE/TG080/VE) kan worden gerealiseerd.

7.7.2.1.7 Bezijken van meerdere stoomgeneratorpijpen (F-11)

In de KCB wordt de breuk van één stoomgeneratorpijp beschouwd als een ontwerpongeval (zie paragraaf 7.4). Het falen van meerdere stoomgeneratorpijpen (F-11) wordt als een buitenontwerpongeval beschouwd.

Sinds de inbedrijfname van de KCB is lekkage van één stoomgeneratorpijp in de beginjaren een aantal keren opgetreden. De laatste lekkage dateert van 1991. Door aanpassing van de waterchemie en aanpassing van de fixatie van de stoomgeneratorpijpen is lekkage sindsdien niet

meer opgetreden. Het bezwijken van meerdere stoomgeneratorpijpen wordt voor de KCB, gelet op de huidige bedrijfservaring, als zeer onwaarschijnlijk beschouwd.

Voor lekkage van stoomgeneratorpijpen zijn ongevalprocedures beschikbaar om de gevolgen van dit ongeval te kunnen beperken.

7.7.2.1.8 **Op lange termijn verlies van veiligheidssystemen na het optreden van een veronderstelde begingeburtenis (F-12)**

Op lange termijn verlies van veiligheidssystemen na het optreden van een veronderstelde begingeburtenis (F-12) wordt beheerst door middel van de beschikbare systemen en procedures. De beheersing is gebaseerd op het *defence in depth* principe, waarbij voor dit ongeval sprake is van meervoudig falen. Inzet van alle beschikbare systemen, componenten, structuren en procedures is toegestaan om escalatie te voorkomen. Beheersing van ongevallen op lange termijn is mede onderdeel van de Accident Management strategieën volgens de Severe Accident Management Guidelines (zie paragraaf 12.3), waarbij continu de beschikbaarheid van eventueel benodigde systemen en water/dieselvoorraden wordt gemonitord.

7.7.2.2 **Begingeburtenissen ten aanzien van het splijststofopslagbassin**

7.7.2.2.1 **Station black out (SBO; volledige uitval van alle spanningsvoorziening met uitzondering van batterijvoedingen) (F-2)**

Volledige uitval van alle spanningsvoorziening (*station black out; F-2*) wordt voor de KCB als zeer onwaarschijnlijk beschouwd, gelet op het grote aantal verschillende mogelijkheden om in spanning te kunnen voorzien (zie paragraaf 7.7.2.1.2).

Daarnaast wordt opgemerkt dat volledige uitval van de spanningsvoorziening voor het splijststofopslagbassin (TG) op korte termijn geen gevolgen heeft. Door het opwarmen en verdampen van het water in het splijststofopslagbassin duurt het minimaal circa 84 uur voordat het niveau in het splijststofopslagbassin tot de bovenzijde van de splijststofelementen is gedaald. Er zijn Accident Management strategieën volgens de Severe Accident Management Guidelines (zie paragraaf 12.3) beschikbaar, waarbij het splijststofopslagbassin kan worden nagevuld/opgevuld. Op die manier kan de koeling van het splijststofopslagbassin ook op lange(re) termijn worden gehandhaafd.

7.7.2.2.2 **Volledig verlies van het tussenkoelwatersysteem (F-6) en volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren (F-9)**

Volledig verlies van het tussenkoelwatersysteem (F-6) en volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren (F-9) worden voor de KCB als onwaarschijnlijk beschouwd, maar kan, gelet op het beschikbaar zijn van een alternatieve koelketen (TG080/VE), worden beheerst.

Bij uitval van het tussenkoelwatersysteem zal de nakoelketen van het splijststofopslagbassin (TG/TF/VF) eveneens uitvallen. Afvoer van de vervalwarmte uit het splijststofopslagbassin kan plaats vinden met de reservenkoelketen (TE/TG080/VE). Falen van de reservenkoelketen wordt voor de KCB als onwaarschijnlijk beschouwd, gelet op de uitvoering van het systeem (zie paragraaf 6.3 en paragraaf 6.6) en de beschikbaarheid bij KCB van aansluitingen voor en aanwezigheid van alternatieven betreffende watertoevoer en waterbronnen (bijvoorbeeld brandbeheersvoorzieningen). Daarnaast is er ruim voldoende tijd beschikbaar voor het inzetten van de laatst genoemde voorzieningen.

De gevolgen van het verlies van de koeling van het splijstofopslagbassin heeft op korte termijn geen gevolgen. Door het opwarmen en verdampen van het water in het splijstofopslagbassin duurt het minimaal circa 84 uur, voordat het niveau in het splijstofopslagbassin tot de bovenzijde van de splijstofelementen is gedaald. Er zijn Accident Management strategieën volgens de Severe Accident Management Guidelines (zie paragraaf 12.3) beschikbaar, waarbij het splijstofopslagbassin kan worden nagevuld/opgevuld. Op die manier kan de koeling van het splijstofopslagbassin ook op lange(re) termijn worden gehandhaafd.

7.7.2.2.3 Op lange termijn verlies van veiligheidssystemen na het optreden van een veronderstelde begingeburtenis (F-12)

Op lange termijn verlies van veiligheidssystemen na het optreden van een veronderstelde begingeburtenis (F-12) wordt beheerst door middel van de beschikbare systemen en procedures. De beheersing is gebaseerd op het *defence in depth* principe, waarbij voor dit ongeval sprake is van meervoudig falen. Inzet van alle beschikbare systemen, componenten, structuren en procedures is toegestaan om escalatie te voorkomen. Beheersing van ongevallen op lange termijn is mede onderdeel van de Accident Management strategieën volgens de Severe Accident Management Guidelines (zie paragraaf 12.3), waarbij continu de beschikbaarheid van eventueel benodigde systemen en water/dieselvoorraden wordt gemonitord.

7.7.3 Ongevalsebeheerstrategieën

Voor de beheersing van ongevallen maakt de KCB gebruik van zogenaamde noodbedieningsprocedures, functieherstelprocedures en *accident management* strategieën als onderdeel van het alarmplan (zie paragraaf 12.3). De KCB procedures en strategieën zijn gebaseerd op de generieke Westinghouse *Emergency Response Guidelines* en *Severe Accident Management Guidelines*. Aan deze richtlijnen liggen vele deterministische veiligheidsanalyses ten grondslag welke zijn uitgevoerd voor een generiek type Westinghouse kerncentrale. Omdat het ontwerp van de KCB op diverse punten afwijkt van de aangenomen Westinghouse kerncentrale, zijn de generieke Westinghouse richtlijnen omgezet naar specifieke KCB procedures en strategieën. Voor verificatie van deze ongevalsbeheerstrategieën zijn specifiek voor de KCB enkele aanvullende deterministische veiligheidsanalyses van buiten-ontwerpongevallen uitgevoerd. Het betreft:

- primaire *bleed & feed* bij volledig verlies van de mogelijkheid om secundair warmte af te voeren;
- secundaire *bleed & feed* bij volledig verlies van voedingswater.

De analyses van deze ongevallen worden in de volgende paragrafen beschreven.

7.7.3.1 Primaire bleed & feed bij verlies van secundaire warmte afvoer

Een volledig verlies van de mogelijkheid om secundair warmte af te voeren treedt op als er bijvoorbeeld geen mogelijkheid is tot voeden van de stoomgeneratoren met het secundair reservesuppletiesysteem (RS), met de stoomturbine aangedreven noodvoedingswaterpomp of met mobiele pompen. In een dergelijke situatie zal, door accumulatie van de vervalwarmte in het primair systeem, de druk en temperatuur van het koelmiddel toenemen. Om toch warmte uit het primair systeem te kunnen afvoeren en daarmee kernschade te voorkomen, wordt primaire *bleed & feed* toegepast. In dat geval vindt drukontlasting van het primair systeem plaats door het openen van de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder (*bleed*), waarna de hoge druk kerninundatiepompen (HDTJ) of de pompen van het primair reservesuppletiesysteem (TW) geboreerd water in het primair systeem kunnen injecteren (*feed*).

De effectiviteit van de warmteafvoer door middel van primaire *bleed & feed* hangt af van de volgende vier parameters:

- het tijdig starten van *bleed & feed* door het regelzaalpersoneel volgend op de symptomen van volledig verlies van de secundaire warmteafvoer;
- de vervalwarmte op het moment van de start van *bleed & feed*;
- de capaciteit van de drukbeveiligingstoestellen (het aantal en de grootte van de kleppen);
- de capaciteit van het hoge druk kerninundatiesysteem (het aantal, debiet en de persdruk van de HDTJ-pompen).

De effectiviteit van primaire *bleed & feed* is het grootst als de druk in het primair systeem snel kan worden verlaagd en zich bij een lage druk stabiliseert, zodat de HDTJ-pompen maximaal kunnen injecteren. Hiervoor is onder andere de afblaascapaciteit van de drukbeveiligingstoestellen relevant. De drukbeveiligingstoestellen kunnen water, stoom en water/stoommengsels afvoeren.

De totale afblaascapaciteit van de KCB drukbeveiligingstoestellen in verhouding tot het nominale reactorvermogen is groter dan aangenomen in de generieke Westinghouse veiligheidsanalyses. Een voor KCB specifiek uitgevoerde thermohydraulische analyse met behulp van het rekenprogramma RELAP5 laat zien dat bij het starten van primaire *bleed & feed* na het aanspreken van de onderste niveaumelding in het reactorvat (min3), zijnde het moment waarop de bovenzijde van de kern onbedekt begint te raken, het primair systeem met behulp van het hoge druk kerninundatiesysteem en de buffertanks weer kan worden opgevuld. Hierbij worden condities bereikt waarbij het reguliere nakoelsysteem (TJ) in bedrijf kan worden genomen om de vervalwarmte af te voeren. Gedurende de gehele transitie blijven de temperaturen van de splitsstofomhulling onder de verzadigingstemperatuur van het koelmiddel van circa 350 °C.

7.7.3.2 Secundaire bleed & feed bij volledig verlies van voedingswater

Bij uitval van het hoofdvoedingswatersysteem wordt op basis van laag niveau in de stoomgeneratoren automatisch de voeding overgenomen door het noodvoedingswatersysteem (RL-nood) of het secundair reservesuppletiesysteem (RS). Deze voedingswatersystemen zijn geschikt om voldoende debiet te leveren, ook bij de maximaal aan te nemen secundaire druk. Als deze voedingswatersystemen niet beschikbaar zijn, kan het deminwatersuppletiesysteem (RZ) handmatig worden omgeschakeld, zodat een stoomgenerator rechtstreeks wordt gevoed. Het RZ-systeem kan alleen voeden als de stoomgeneratordruk lager is dan circa 20 bar. Om deze reden wordt de te voeden stoomgenerator afgeblazen totdat deze druk bereikt is.

Als de actieve mogelijkheden om de stoomgeneratoren te voeden niet uitvoerbaar zijn of falen (volledig verlies van voedingwater), kan geprobeerd worden om rechtstreeks vanuit de op druk gehouden voedingswatertank te voeden. Hiervoor wordt één stoomgenerator gebruikt om de voedingswatertank op druk te houden, terwijl de andere stoomgenerator wordt afgeblazen tot atmosferische druk. Op deze wijze wordt het drukverschil tussen voedingswatertank en stoomgenerator gemaximaliseerd, zodat voldoende voedingswaterdebiet naar de stoomgenerator (op atmosferische druk) ontstaat. Specifiek voor de KCB is door middel van een thermohydraulische analyse aangetoond dat via deze (passieve) suppletiemethode voldoende debiet geleverd kan worden om de vervalwarmte via de stoomgeneratoren af te voeren. De watervoorraad in de voedingswatertank (en leidingen) is voldoende om gedurende circa 6 uur de vervalwarmte te kunnen afvoeren. Daarna zal de temperatuur en druk in het primair systeem gaan toenemen en zal circa 10 uur na het begin van het ongeval tot primaire *bleed & feed* moeten worden overgegaan (zie paragraaf 7.7.3.1).

Als ook de uitval van de voedingswatertank wordt verondersteld, kan nog enige tijd voldoende debiet met behulp van de inhoud van de voedingswaterleidingen worden geleverd om de vervalwarmte af te voeren. Specifiek voor de KCB is door middel van een thermohydraulische analyse aangetoond dat de watervoorraad in de voedingswaterleidingen voldoende is om gedurende circa 3,5 uur de vervalwarmte te kunnen afvoeren. Daarna zal de temperatuur en druk in het primair systeem gaan toenemen en zal circa 4 uur na het begin van het ongeval tot primaire *bleed & feed* moeten worden overgegaan (zie paragraaf 7.7.3.1).

7.8 PROBABILISTISCHE VEILIGHEIDSANALYSES

7.8.1 Inleiding

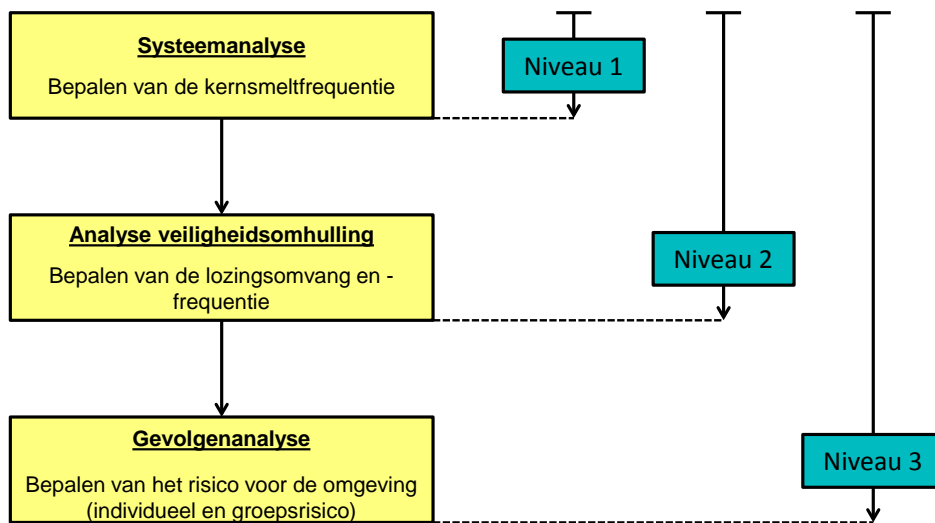
In paragraaf 7.8 worden de probabilistische veiligheidsanalyses behandeld, zoals deze zijn uitgevoerd om het veiligheidsniveau van de installatie te kunnen toetsen. Het gaat hierbij enerzijds om het identificeren en kwantificeren van risico's om de evenwichtigheid van een goed ontwerp van de installatie te kunnen aantonen en anderzijds om deze risico's te kunnen toetsen aan de door de overheid vastgestelde criteria met betrekking tot stralingsrisico's voor ernstige ongevallen.

In tegenstelling tot de in paragraaf 7.1 t/m paragraaf 7.7 behandelde deterministische analyses waarbij kernschade en radioactieve lozingen naar de omgeving moeten worden voorkomen of hooguit in zeer beperkte mate zijn toegelaten, zijn probabilistische analyses gericht op mogelijke scenario's waarbij kernsmelt en lozingen naar de omgeving kunnen optreden (ernstige ongevallen). De kernsmelt en lozingen ten gevolge van kernsmelt kunnen het gevolg zijn van allerlei verschillende interne en externe begingebourtenissen waarbij het falen van (meerdere) bedrijfs- en veiligheidssystemen en/of het falen van menselijk handelen wordt verondersteld. Het probabilistisch karakter van de analyses is ingegeven door de beschouwing van de frequentie van optreden van de begingebourtenissen en de faalkansen van systemen en/of menselijk handelen.

7.8.2 PSA-methodiek

Probabilistische veiligheidsanalyses worden uitgevoerd volgens een methodiek die in het vervolg zal worden aangeduid met *Probabilistic Safety Assessment* (PSA). In een PSA worden drie niveaus onderscheiden (figuur 7.8.2/1):

1. in niveau 1 worden begingebourtenissen vastgesteld en ontwikkeld tot ongevalsscenario's die tot kernsmelt kunnen leiden. Het resultaat van dit niveau is de kernsmeltfrequentie;
2. uitgaande van de in niveau 1 bepaalde ongevalsscenario's worden in niveau 2 de mechanismen voor het falen van de veiligheidsomhulling geanalyseerd, alsmede de kans hierop. Het resultaat van dit niveau is voor elk representatief ongevalsscenario een beschrijving van de (eventuele) lozing van activiteit naar de omgeving (lozingscategorie of brontermgroep) en de bijbehorende frequentie;
3. op basis van het spectrum van mogelijke lozingen naar de omgeving worden in niveau 3 de gevolgen voor de omgeving geanalyseerd, en het individueel en het groepsrisico bepaald.



Figuur 7.8.2/1 PSA niveaus

7.8.3 (L)PSA-model KCB

Voor de KCB is een PSA-model opgesteld dat gebruik maakt van verschillende rekenprogramma's, zoals WinNupra, Psimex (niveau 1), WinNUCAP, MELCOR (niveau 2) en COSYMA (niveau 3). Dit zijn algemeen aanvaarde en gevalideerde codes voor een PSA.

Het PSA-model voor de KCB is geen statisch model, omdat het PSA-model en de modelparameters voortdurend worden aangepast op basis van nieuwe inzichten, (bedrijfs)ervaringen en/of wijzigingen in de installatie/bedieningsinstructies. In dat opzicht is er sprake van een "levende" PSA (*Living PSA*; LPSA). Dit betekent eveneens dat afhankelijk van de doorgevoerde aanpassingen de LPSA "betere" of "slechtere" resultaten kan opleveren, waarbij evenwel aan de door de overheid vastgestelde criteria met betrekking tot stralingsrisico's moeten worden voldaan. De "betere" resultaten kunnen het gevolg zijn van bijvoorbeeld verbetermaatregelen waarbij wijzigingen in de installatie of bedieningsinstructies worden doorgevoerd; de "slechtere" resultaten kunnen het gevolg zijn van bijvoorbeeld het gebruik van conservatievere methoden of de toevoeging van nieuwe begingebourtenissen/ontwikkeling van nieuwe ongevalsscenario's.

Het LPSA-model wordt van tijd tot tijd bevroren; bijvoorbeeld na grote afwijkingen tussen het vorige bevroren model en het actuele LPSA-model. De resultaten opgenomen in paragraaf 7.8.4 zijn gebaseerd op het in 2013 bevroren LPSA-model LPSA13.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de uitgangspunten en randvoorwaarden zoals die voor het KCB PSA-model gelden.

7.8.3.1 Niveau 1

Tot de scope van begingebourtenissen behoren die gebeurtenissen die als gevolg van interne (zoals falen van componenten, menselijk falen, of brand) of externe invloeden (zoals een overstrooming) kunnen leiden tot kernsmelt. Hierbij is inbegrepen de frequentie van falen van bedrijfs- en veiligheidssystemen, alsmede menselijk falen. De begingebourtenissen zijn mede afhankelijk van de bedrijfstoestand van de installatie (vermogensbedrijf/niet-vermogensbedrijf).

In totaal worden circa 160 verschillende begingebourtenissen beschouwd. Deze zijn gebaseerd op internationale normen/regelgeving en op de PSA's van andere kernreactoren. Voor wat betreft de externe begingebourtenissen zijn alleen die gebeurtenissen in het PSA-model opgenomen waarvoor geldt dat de frequentie groter of gelijk is aan $1 \cdot 10^{-9}$ per jaar, of waarvoor geldt dat de kernsmeltfrequentie als gevolg van de begingebourtenis groter is dan $1 \cdot 10^{-10}$ per jaar.

Niveau 1 van het PSA-model is zodanig opgezet dat de effectiviteit van potentiële systeem/componentwijzigingen kan worden aangetoond. In het model zijn de KCB-bedrijfservaringen, zoals onderhoudsvorschriften en de invloed daarvan op de beschikbaarheid van systemen/componenten, verwerkt. In het PSA-model zijn voor de beheersing van het ongevalsscenario enkel de actieve faalvormen van componenten gemodelleerd, alsmede de afhankelijkheden tussen menselijk falen en (de beschikbaarheid van) bedrijfs- en veiligheidssystemen. De passieve faalvormen zijn onderdeel van de begingebourtenissen.

Voor wat betreft het menselijk handelen worden zowel handelingen voor als na het optreden van een begingebourtenis beschouwd. Voor de evaluatie van deze handelingen, waarbij eveneens rekening wordt gehouden met afhankelijkheden van de menselijke acties, wordt gebruik gemaakt van internationale normen/richtlijnen zoals SHARP (*Systematic Human Action Reliability Procedure*) van het Electric Power Research Institute en ASEP (*Accident Sequence Evaluation Program*) van de U.S. Nuclear Regulatory Commission.

In een PSA worden typisch alleen menselijke fouten door het overslaan of vergeten van handelingen behandeld. In het KCB PSA-model worden ook menselijke fouten geanalyseerd die betrekking hebben op het uitvoeren van foutieve handelingen als deze foutieve handeling tot nadelige gevolgen voor de beheersing van het ongeval leidt.

7.8.3.2 Niveau 2

Als onderdeel van niveau 2 van het PSA-model zijn deterministische veiligheidsanalyses met het rekenprogramma MELCOR uitgevoerd. Met deze code kunnen onder andere de volgende fysische processen binnen de veiligheidsomhulling worden geanalyseerd:

- thermo-hydraulisch gedrag van het reactorsysteem en de ingesloten atmosfeer binnen de veiligheidsomhulling;
- kerndegradatie (bijvoorbeeld oxidatie van splijtstofomhullingen en relocatie van kernmateriaal);
- opwarming en falen van het reactorvat;
- kern-betoninteracties ("core-concrete interaction");
- vorming, verspreiding en ontbranding van waterstof;
- vrijkomen, verspreiding en depositie van radioactieve stoffen.

Het doel van de MELCOR- analyses is inzicht te verkrijgen in de mogelijke ongevalsverlopen uitgaande van de verschillende begingebourtenissen en de daarbij optredende karakteristieke fysische fenomenen, alsmede om kansen voor het optreden van het ongeval en lozingen van radioactieve stoffen naar de omgeving (bronterm) te kunnen kwantificeren.

Voor de bepaling van de brontermen zijn niet alle ongevalsscenario's afzonderlijk geanalyseerd, maar heeft een groepering plaatsgevonden op basis van de eigenschappen van ongevalsscenario's en de lozingskarakteristieken. Voor de resulterende representatieve scenario's zijn analyses uitgevoerd met *best-estimate* uitgangspunten en randvoorwaarden en omhullende aannamen met betrekking tot beschikbaarheid van bedrijfs- en veiligheidssystemen en/of effectiviteit van operatoractie(s).

7.8.3.3 Niveau 3

De niveau 3 berekeningen worden uitgevoerd volgens de Nederlandse "Richtlijn Niveau-3 PSA".

Voor het KCB PSA-model wordt het rekenprogramma COSYMA gebruikt. Voor een beschrijving van deze rekencode en de gebruikte uitgangspunten en randvoorwaarden wordt verwezen naar paragraaf 7.4.

7.8.3.4 Onzekerheden

Met betrekking tot de resultaten verkregen met KCB PSA-model worden twee soorten onzekerheden onderscheiden. Het betreft enerzijds stochastische onzekerheden met betrekking tot gebruikte parameterwaardes en anderzijds modelonzekerheden. De stochastische onzekerheden hebben geen invloed op de logische structuur van het PSA-model, maar leiden tot een spreiding in de resultaten. In de praktijk is deze spreiding kwantificeerbaar, maar leidt niet tot andere inzichten.

De modelonzekerheden zijn gerelateerd aan de juistheid van het PSA-model en zijn moeilijker te kwantificeren. Daarom worden de modelonzekerheden onderzocht door gevoeligheidsanalyses uit te voeren voor de onderwerpen die de grootste invloed op de resultaten hebben en bij belangrijke modelwijzigingen.

7.8.4 Resultaten

Het doel van de PSA is het toetsen van het veiligheidsniveau van de installatie en specifiek de evenwichtigheid van een goed ontwerp en de mogelijke stralingsrisico's bij ernstige ongevallen.

De evenwichtigheid van een goed ontwerp is af te leiden uit het risicoprofiel zoals die volgt uit de niveau 1 analyses (zie paragraaf 7.8.4.1).

Ten behoeve van de toetsing van de stralingsrisico's zijn brontermen voor representatieve ongevalsescenario's bepaald (zie paragraaf 7.8.4.2), welke uiteindelijk hebben geleid tot de vaststelling van het individueel en het groepsrisico. De risicobepalingen zijn uitgevoerd conform het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse) en de "Richtlijn niveau-3 PSA". In het Bkse zijn de volgende toetsingscriteria voor de risico's voor ernstige ongevallen (of buiten-ontwerpongevallen conform de terminologie van het Bkse) vastgelegd:

- een kans van 10^{-6} per jaar dat een persoon, die zich permanent en onbeschermd buiten de desbetreffende inrichting zou bevinden, overlijdt als gevolg van een ernstig ongeval (of een buiten-ontwerpongeval);
- een kans van 10^{-5} per jaar dat buiten de desbetreffende inrichting een groep van tenminste 10 personen direct dodelijk slachtoffer is van een ernstig ongeval (of een buiten-ontwerpongeval), of n maal meer direct dodelijke slachtoffers een kans die n^2 maal kleiner is.

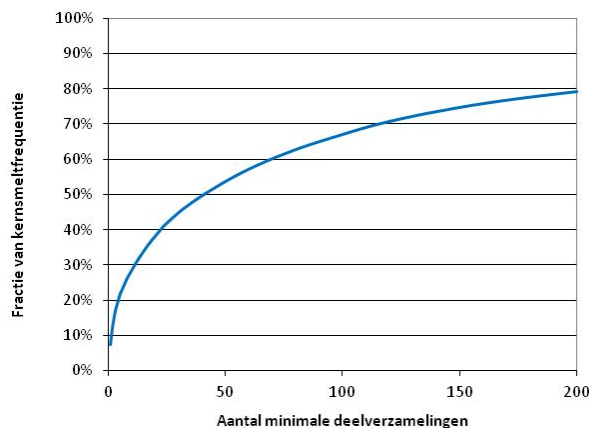
Deze criteria worden aangeduid met "individueel risico" en "groepsrisico".

De resultaten opgenomen in deze paragraaf zijn gebaseerd op het LPSA-model LPSA13.

7.8.4.1 Niveau 1

Als onderdeel van de niveau 1 analyses is het risicoprofiel voor alle interne en externe begingebourtenissen vastgesteld (zie figuur 7.8.4.1/1). Hierbij wordt de verdeling van het risico, zijnde de bijdrage aan de kernsmeltfrequentie, vergeleken met verschillende doorsnedes, of deelverzamelingen, van ongevalscenario's. Bij een vlak verloop van het risicoprofiel is er sprake van een evenwichtig ontwerp. Bij een onevenwichtig ontwerp kunnen één of enkele begingebourtenissen dominant zijn voor de kernsmeltfrequentie hetgeen tot uiting zou komen in een sterke transitie in het risicoprofiel.

Het risicoprofiel voor alle interne en externe begingebourtenissen toont aan dat bij de KCB sprake is van een evenwichtig ontwerp.



Figuur 7.8.4.1/1 Risicoprofiel voor alle interne en externe begingebourtenissen

De totale kernsmeltfrequentie (*Total Core Damage Frequency*, TCDF) als gevolg van de interne en externe begingebourtenissen bedraagt $3 \cdot 10^{-6}$ per jaar (zie ook paragraaf 7.8.4.2).

7.8.4.2 Niveau 2

Als resultaat van de niveau 2 analyses zijn verschillende lozingscategorieën (brontermgroepen) vastgesteld en is de bijbehorende lozingsfrequentie bepaald. Deze lozingsfrequentie wordt bepaald door de combinaties van begingebourtenissen en de faalmodes van de veiligheidsomhulling die tot een soortgelijke lozingscategorie leiden. De lozingscategorie wordt bepaald door het representatieve ongevalscenario.

Er zijn 19 representatieve ongevalscenario's (en dus ook lozingscategorieën) waarvoor MELCOR-analyses zijn uitgevoerd. Hiermee zijn de bijbehorende lozingsgegevens (zoals lozingsfracties en fasering in de tijd) bepaald.

Het overzicht van lozingscategorieën, de bijbehorende representatieve scenario's, de lozingsfrequentie, het moment van lozing en de gemiddelde vrijzettingsfractie als ruwe indicatie voor de grootte van de gevolgen is in tabel 7.8.4.2/1 weergegeven voor de scenario's die betrekking hebben op het reactorsysteem en in tabel 7.8.4.2/2 voor het splijststofopslagbassin.

Tabel 7.8.4.2/1 Overzicht van de lozingscategoriën met de representatieve ongevalsscenario's voor het reactorsysteem

Lozings-categorie	Veronderstelde begingebourtenis / uitgangspunten en randvoorwaarden	Frequentie [per jaar]	Moment van lozing [vroeg/laat] ¹⁾	Vrijzetting -fractie ²⁾
1	Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren inclusief falen van alle veiligheidssystemen tijdens niet-vermogens-bedrijf (<i>midloop</i>). Gefilterde drukontlasting veiligheidsomhulling na 48 uur.	$1 \cdot 10^{-7}$	laat	$5 \cdot 10^{-7}$
2	Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren inclusief falen van alle veiligheidssystemen niet-vermogensbedrijf (<i>midloop</i>). Gelijk aan scenario bij lozingscategorie 1, de veiligheidsomhulling is echter niet geïsoleerd.	$3 \cdot 10^{-9}$	vroeg	$9 \cdot 10^{-2}$
3	Volledig verlies van voedingswater inclusief falen van alle veiligheidssystemen tijdens vermogensbedrijf. Geen primaire drukontlasting door handmaatregelen.	$7 \cdot 10^{-9}$	vroeg	$4 \cdot 10^{-1}$
4	Volledig verlies van voedingswater inclusief falen van alle veiligheidssystemen uitgezonderd het hoge druk veiligheids-injectiesysteem tijdens vermogensbedrijf. Geen primaire drukontlasting door handmaatregelen.	$9 \cdot 10^{-10}$	vroeg	$5 \cdot 10^{-1}$
5	Volledig verlies van voedingswater inclusief falen van alle veiligheidssystemen uitgezonderd het primair reservesuppletie-systeem (TW) tijdens vermogensbedrijf. Geen primaire drukontlasting door handmaatregelen.	$2 \cdot 10^{-9}$	vroeg	$4 \cdot 10^{-1}$
6	Volledig verlies van voedingswater inclusief falen van alle veiligheidssystemen tijdens vermogensbedrijf. Geen primaire drukontlasting door handmaatregelen. Gelijk aan scenario bij lozingscategorie 3, echter geen afkoeling van het systeem met 100 K/uur.	$1 \cdot 10^{-8}$	vroeg	$2 \cdot 10^{-2}$
7	Volledig verlies van voedingswater inclusief falen van alle veiligheidssystemen tijdens vermogensbedrijf. Primaire drukontlasting door handmaatregelen.	$6 \cdot 10^{-9}$	vroeg	$2 \cdot 10^{-1}$
8	Volledig verlies van voedingswater	$7 \cdot 10^{-7}$	laat	$1 \cdot 10^{-5}$

Lozings-categorie	Veronderstelde begingebuurtenis / uitgangspunten en randvoorwaarden	Frequentie [per jaar]	Moment van lozing [vroeg/laat] ₁₎	Vrijzettings-fractie ²⁾
9	<p>inclusief falen van alle veiligheidssystemen uitgezonderd buffertanks tijdens vermogens-bedrijf. Geen primaire drukontlasting door handmaatregelen. Gefilterde drukontlasting veiligheidsomhulling na 48 uur.</p> <p>Volledig verlies van voedingswater inclusief falen van alle veiligheidssystemen uitgezonderd buffertanks tijdens vermogens-bedrijf. Geen primaire drukontlasting door handmaatregelen. Gelijk aan scenario bij lozingscategorie 8, echter zonder gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling.</p>	$1 \cdot 10^{-6}$	vroeg	$2 \cdot 10^{-3}$
10	<p>Stoomgeneratorpijpbreuk (1 pijp) inclusief falen van alle veiligheidssystemen uitgezonderd hoge druk veiligheids-injectiesysteem en buffertanks tijdens vermogensbedrijf. Voedingswater intacte stoomgenerator is niet beschikbaar; voedingswater lekke stoomgenerator na 15 minuten geïsoleerd.</p>	$2 \cdot 10^{-8}$	vroeg	$7 \cdot 10^{-2}$
11	<p>Lekkage van het primair systeem buiten de veiligheidsomhulling (<i>interfacing systems LOCA</i>) tijdens vermogensbedrijf.</p>	$3 \cdot 10^{-7}$	laat	$1 \cdot 10^{-1}$
12	<p>Volledig verlies van voedingswater inclusief falen van alle veiligheidssystemen uitgezonderd buffertanks tijdens vermogens-bedrijf. Geen primaire drukontlasting door handmaatregelen. Gebruik van het containmentsproeisysteem.</p>	$9 \cdot 10^{-9}$	vroeg	$4 \cdot 10^{-2}$
13	<p>Stoomgeneratorpijpbreuk (1 pijp) inclusief falen van alle veiligheidssystemen uitgezonderd hoge druk veiligheidsinjectie-systeem en buffertanks tijdens vermogens-bedrijf. Voedingswater intacte stoomgenerator niet beschikbaar.</p>	$1 \cdot 10^{-9}$	vroeg	$1 \cdot 10^{-2}$
14	<p>Volledig verlies van voedingswater inclusief falen van alle veiligheidssystemen uitgezonderd buffertanks tijdens vermogens-bedrijf.</p>	$2 \cdot 10^{-8}$	vroeg	$4 \cdot 10^{-2}$

Lozings-categorie	Veronderstelde begingebuurtenis / uitgangspunten en randvoorwaarden	Frequentie [per jaar]	Moment van lozing [vroeg/laat] ¹⁾	Vrijzettings-fractie ²⁾
15	Geen primaire drukontlasting door handmaatregelen. Gelijk aan scenario bij lozingscategorie 9, uitgezonderd lekpad veiligheidsomhulling. Volledig verlies van voedingswater inclusief falen van alle veiligheidssystemen uitgezonderd buffertanks tijdens vermogens-bedrijf. Geen primaire drukontlasting door handmaatregelen. Vergelijkbaar scenario als bij lozingscategorie 14, met nadruk op late lozing.	1·10 ⁻⁷	laat	3·10 ⁻²
Som van de lozingsfrequenties		2,3·10⁻⁶		

¹⁾ Vroeg betekent binnen 24 uur na aanvang begingebuurtenis; laat betekent meer dan 24 na aanvang begingebuurtenis.

²⁾ Gemiddelde vrijzettingfractie van de in de reactorkern aanwezige nucliden (jodium, cesium, alkalimetalen, etc.; uitgezonderd edelgassen en niet/minder vluchtige stoffen) op 168 uur na aanvang van het ongeval.

Tabel 7.8.4.2/2 Overzicht van de lozingscategorïeën met de representatieve scenario's voor het splijststofopslagbassin

Lozings-categorie	Veronderstelde begingebuurtenis / uitgangspunten en randvoorwaarden	Frequentie [per jaar]	Moment van lozing [vroeg/laat] ¹⁾	Vrijzettingsfractie ²⁾
16	Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren, inclusief falen van alle veiligheidssystemen. Gefilterde drukontlasting veiligheidsomhulling beschikbaar na 48 uur.	$4 \cdot 10^{-7}$	laat	$2 \cdot 10^{-5}$
17	Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren, inclusief falen van alle veiligheidssystemen. Gelijk aan scenario bij lozingscategorie 16, de veiligheidsomhulling is echter niet geïsoleerd.	$5 \cdot 10^{-9}$	laat	$1 \cdot 10^{-1}$
18	Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren, inclusief falen van alle veiligheidssystemen. Gelijk aan scenario bij lozingscategorie 17, echter met gebruik van het containmentsproeisysteem.	$5 \cdot 10^{-10}$	laat	$2 \cdot 10^{-2}$
19	Volledig verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren, inclusief falen van alle veiligheidssystemen. Gelijk aan scenario bij lozingscategorie 17, echter met falen van de veiligheidsomhulling na 48 uur.	$7 \cdot 10^{-9}$	laat	$1 \cdot 10^{-1}$
Som van de lozingsfrequenties		$0,4 \cdot 10^{-6}$		

¹⁾Vroeg betekent binnen 24 uur na aanvang begingebuurtenis; laat betekent meer dan 24 na aanvang begingebuurtenis.

²⁾Gemiddelde vrijzettingsfractie van de in het splijststofopslagbassin aanwezige nucliden (jodium, cesium, alkalimetalen, etc.; uitgezonderd edelgassen en niet/minder vluchtige stoffen) op 168 uur na aanvang van het ongeval.

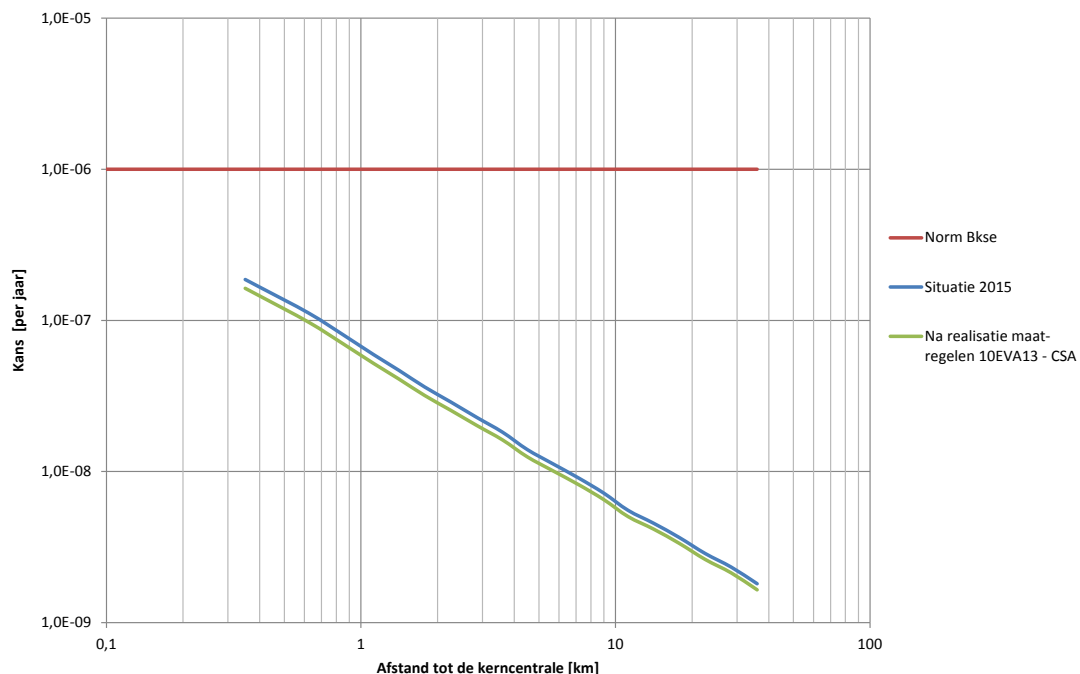
De totale kernsmeltfrequentie als gevolg van de interne en externe begingebourtenissen is gelijk aan de som van de lozingsfrequenties van de ongevalscenario's waarbij lozingen naar de omgeving optreden (zie tabel 7.8.4.2/1: $2,3 \cdot 10^{-6}$ per jaar en tabel 7.8.4.2/2: $0,4 \cdot 10^{-6}$ per jaar) en de lozingsfrequenties van de ongevalscenario's waarbij geen lozingen optreden (lozingscategorie 20; $0,2 \cdot 10^{-6}$ per jaar). De TCDF bedraagt dus $3 \cdot 10^{-6}$ per jaar.

De resultaten van de PSA niveau 1 en 2 worden niet significant beïnvloed door het gebruik van de verschillende typen vergunde splijtstoffen. De resultaten, inclusief die voor niveau 3, zijn daarom representatief voor de inzet van ENU, (c-)ERU en MOX.

7.8.4.3 Niveau 3

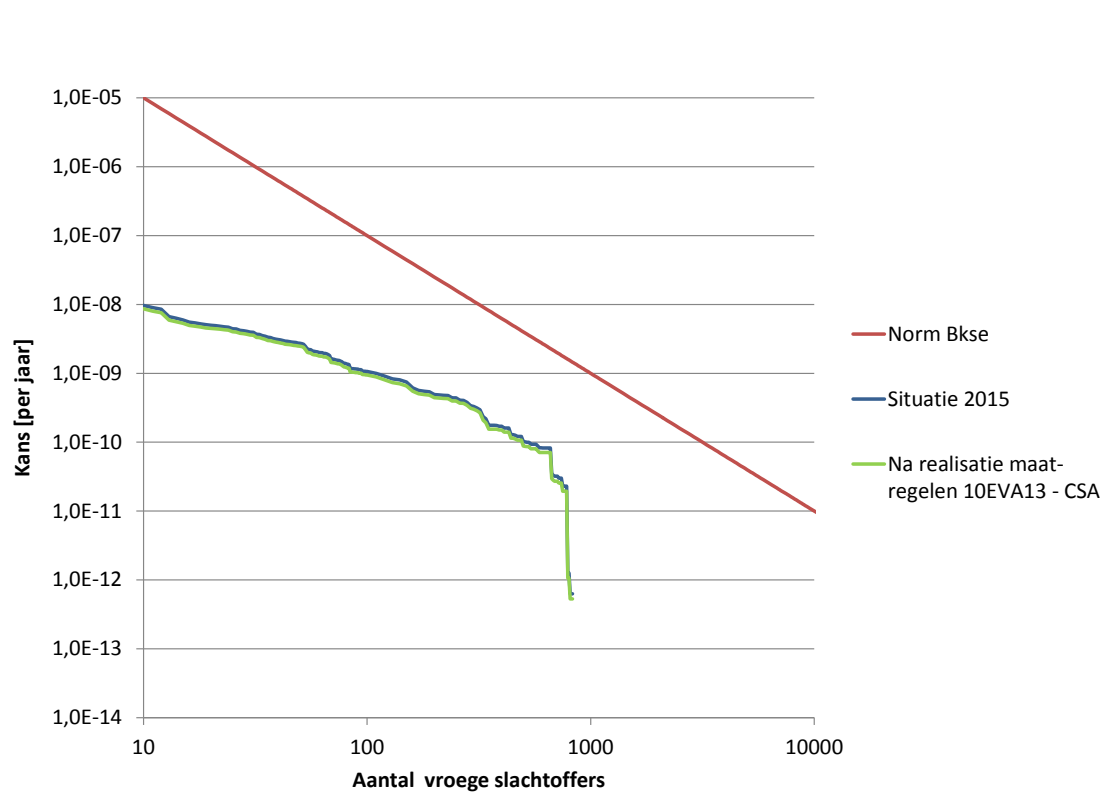
Met behulp van de in paragraaf 7.8.4.2 vermelde lozingscategorieën (brontermgroepen) en de lozingsfrequenties is het individueel risico en het groepsrisico bepaald. De resultaten zijn weergegeven in figuur 7.8.4.3/1 en figuur 7.8.4.3/2. In deze figuren zijn eveneens de criteria volgens het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen opgenomen.

Voor wat betreft het individueel risico zijn voor elke lozingscategorie de risico's voor de meest kritieke groep, zijnde kinderen, als functie van de afstand tot de kerncentrale bepaald. De uiteindelijke som van deze naar de lozingscategoriefrequentie (kans per jaar van optreden) gewogen risico's geeft het individueel risico zoals weergegeven in figuur 7.8.4.3/1.



Figuur 7.8.4.3/1 Individueel risico voor de kritieke groep kinderen

Uit figuur 7.8.4.3/1 blijkt dat de waarden voor het individueel risico voor alle afstanden tot de kerncentrale onder het Bkse-criterium van $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar blijven.



Figuur 7.8.4.3/2 Groepsrisico

Uit figuur 7.8.4.3/2 blijkt dat de waarden voor het groepsrisico onder de grenswaardelijnen van het Bkse blijven.

De bovenstaande figuren laten zien dat de stralingsrisico's van de KCB tijdens ernstige ongevallen voldoen aan de criteria, zoals gesteld in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. Deze conclusie is geldig bij de inzet van ENU, (c-)ERU en MOX.

7.9 SAMENVATTING EN CONCLUSIE VEILIGHEIDSANALYSES

7.9.1 Inleiding

Veiligheidsanalyses zijn uitgevoerd om de beheersing van veronderstelde begingebourtenissen (PIE's: Postulated Initiating Events) op basis van veiligheidscriteria en door de overheid vastgestelde limieten ten aanzien van lozingen van radioactieve stoffen in de atmosfeer en ten aanzien van stralingsdosis te kunnen aantonen.

De veiligheidsanalyses kunnen zowel deterministisch als probabilistisch van aard zijn. De deterministische analyses beschrijven, voor gegeven bedrijfstoestanden en ongevalscondities, het gedrag van de installatie op een zo realistisch mogelijke wijze. In het algemeen zijn deze analyses, vanwege de conservatief gekozen uitgangspunten en randvoorwaarden, conservatief of afdekkend van aard en bedoeld als bevestiging van de ontwerpbasis van de installatie. Probabilistische analyses zijn gericht op het identificeren en kwantificeren van risico's en om de evenwichtigheid van een goed ontwerp van de installatie te kunnen aantonen. De deterministische en probabilistische analyses vullen elkaar aan voor wat betreft de verificatie van de ontwerpbasis en de toetsing ten aanzien van de eerdergenoemde veiligheidscriteria en limieten ten aanzien van lozingen van radioactieve stoffen in de atmosfeer en ten aanzien van stralingsdosis.

7.9.2 Begingebourtenissen

Een begingebourtenis is gedefinieerd als een veronderstelde gebeurtenis die kan leiden tot storings- of ongevalscondities. Hierbij kunnen bijvoorbeeld het falen van apparatuur, operatorfouten, of invloeden van buitenaf worden verondersteld.

Voor de KCB is een groot aantal begingebourtenissen gedefinieerd (zie paragraaf 7.2 en paragraaf 7.9). Deze begingebourtenissen zijn gebaseerd op internationale normen/ regelgeving en installatiespecifieke kenmerken. In het algemeen zijn de begingebourtenissen gecategoriseerd naar de aard en de kans van optreden. Dat wil zeggen dat onderscheid wordt gemaakt naar normaal bedrijf/storingen, ontwerpgevalen, buitenontwerpgevalen en ernstige ongevalen.

Voor wat betreft de deterministische veiligheidsanalyses is het niet noodzakelijk om elke begingebourtenis in detail te analyseren. Ter vereenvoudiging van de bewijsvoering dat aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan, worden afdekkende of representatieve begingebourtenissen geanalyseerd. Voor de afdekkende (representatieve) gebeurtenis gelden de strengste beschermings-doelstellingen van de afgedekte gebeurtenissen. Bovendien worden ten behoeve van een voldoende conservatieve afdekking de ongunstigste randvoorwaarden en uitgangspunten van de afdekkende gebeurtenissen gehanteerd. Een overzicht van de representatieve begingebourtenissen waarvoor deterministische veiligheidsanalyses zijn uitgevoerd is opgenomen in paragraaf 7.3.

7.9.3 Deterministische veiligheidsanalyses

Bij de deterministische veiligheidsanalyses wordt onderscheid gemaakt naar thermohydraulische en radiologische analyses. De thermohydraulische analyses hebben als doel het ontwerp van de installatie te toetsen aan gedefinieerde beschermings-doelstellingen (nucleair en systeemtechnisch) zoals onderkritikaliteit, afvoer van vervalwarmte, toelaatbare systeemdrukken. De radiologische analyses worden gebruikt voor het bepalen van de gevolgen van lozingen van radioactieve stoffen naar de omgeving, inclusief de effecten van directe straling vanuit het reactorgebouw, en deze vervolgens te toetsen aan de dosiscriteria zoals vastgelegd in het Besluit Kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen.

In paragraaf 7.9.3.1 volgt een overzicht van de thermohydraulische analyses zoals uitgevoerd voor de representatieve begingebourtenissen behorende tot de categorieën normaal bedrijf/storingen en ontwerpongevallen. In paragraaf 7.9.3.2 volgt een overzicht van de radiologische analyses voor de representatieve begingebourtenissen behorende tot de categorieën normaal bedrijf/storingen en ontwerpongevallen.

In paragraaf 7.9.3.3 wordt ingegaan op de buitenontwerpongevallen voor wat betreft het aantonen van een voldoende mate van beheersing middels het *defence in depth* principe.

De radiologische analyses voor de buitenontwerpongevallen en de ernstige ongevallen zijn onderdeel van probabilistische veiligheidsanalyses (zie paragraaf 7.9.4).

7.9.3.1 Thermohydraulische analyses

Een overzicht van de representatieve begingebourtenissen waarvoor thermohydraulische analyses zijn uitgevoerd, de gehanteerde beschermingsdoelstellingen en de vraag of aan deze doelstellingen wordt voldaan is weergegeven in tabel 7.9.3.1/1. De afzonderlijke thermohydraulische analyses zijn opgenomen in paragraaf 7.4.

Tabel 7.9.3.1/1 Overzicht van de voor de representatieve begingebourtenissen uitgevoerde thermohydraulische analyses en de daarbij gehanteerde beschermingsdoelstellingen

PIE	Veronderstelde begingebourtenis	Beschermingsdoelstellingen *)	Voldoet ja/nee
1.4	Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) in de secundaire kringloop	1, 2, 13	ja
1.5.4	Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters	4, 10, 15	ja
1.5.6	Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling	4, 10, 15, 17	ja
2.3.2	TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding	1, 2, 16, 18	ja
2.5.2	Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten)	1, 2, 16, 18	ja
2.6.1	Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen	1, 2, 16, 18	ja
3.2	Breuk of blokkade van een hoofdkoelmiddelpompas	2, 3, 16, 18	ja
5.1	Onbedoeld uittrekken van regelstaven	2, 3, 16, 18	ja
5.2	Uitworp van de meest effectieve regelstaaf	2, 3, 5, 6, 16, 18	ja
7.1.1	Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder	1, 2	ja
7.1.2	Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder	4, 7, 8, 11, 13	ja
7.2.2	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling	4, 7, 8, 11, 13	ja
7.2.3	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding	4, 7, 8, 11, 13	ja
D3-27	Lekkage van 20 cm ² in het reactorvat, beneden de bovenkant van de kern	4, 7, 8, 11, 13	ja
7.3.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen	9, 12, 19	ja
9.1.1	Gevolgen van een aardbeving op gebouwen en systemen aardbevingsklasse I	10, 14	ja
10.2	Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling	20	ja
10.5	Bedrijfstransiënten waarbij uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (buitenontwerpongeval)	4, 7, 10, 13, 17	ja
D3-20	Vorming van laag-geboreerde gebieden in het primair systeem (interne verdunning) (andersoortige analyse)	10, 15	ja
D3-42	Breuk van een regelstaafbehuizing met uitworp van een regelstaaf (andersoortige analyse)	21	ja

*)

1. De splijststof- en splijststofomhullingstemperaturen mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarden komen.
2. De minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar).

3. De splijtstof- en splijtstofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. De temperatuur van de splijtstofomhulling moet lager dan 600 °C zijn.
4. De splijtstof- en splijtstofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. De temperatuur van de splijtstofomhulling moet lager zijn dan 1200°C.
5. De maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijtstof-tablet moet voldoende laag zijn om schade aan de splijtstof en splijtstofomhulling te voorkomen.
6. De enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijtstof-tablet moet beneden de toelaatbare waarde (966 J/g) blijven.
7. De plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling moet minder zijn dan 17 %.
8. De waterstofproductie mag 1 % van de grootst mogelijke waarde niet overschrijden.
9. De splijtstofomhulling moet dicht blijven (integriteit).
10. Handhaving van onderkritikaliteit op lange termijn.
11. De door temperatuurverhoging veroorzaakte geometrische veranderingen in de kern mogen de koeling daarvan niet nadelig beïnvloeden.
12. Voldoende koeling van de kern moet gegarandeerd zijn.
13. De warmteafvoer dient gewaarborgd te zijn.
14. Handhaving van warmteafvoer via het secundair systeem.
15. Handhaving van warmteafvoer uit de kern op lange termijn.
16. De hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden.
17. De hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk) niet overschrijden.
18. De drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aan de primaire zijde mogen niet aanspreken.
19. De defecte stoomgenerator mag niet worden overvuld.
20. De hoofdkoelmiddelpompen mogen geen ontoelaatbaar hoge toerentallen bereiken.
21. Mechanische effecten ten gevolge van de breuk moeten worden beheerst.

Zoals uit tabel 7.9.3.1/1 blijkt, wordt voor alle representatieve begingebourtenissen aan de "thermohydraulische" beschermingsdoelstellingen voldaan. Dit betekent dat de door de representatieve begingebourtenis afgedekte begingebourtenissen eveneens aan de beschermingsdoelstellingen voldoen. Deze conclusie is geldig bij de inzet van ENU, (c-)ERU en MOX.

7.9.3.2 Radiologische analyses

Een overzicht van de representatieve begingebourtenissen waarvoor radiologische analyses zijn uitgevoerd, de gehanteerde acceptatiecriteria en de vraag of aan deze acceptatiecriteria wordt voldaan is weergegeven in tabel 7.9.3.2/1. De afzonderlijke radiologische analyses zijn opgenomen in paragraaf 7.5.

Tabel 7.9.3.2/1 Overzicht van de voor de representatieve begingebourtenissen uitgevoerde radiologische analyses en de daarbij gehanteerde beschermingsdoelstellingen

PIE	Veronderstelde begingebourtenis	Beschermingsdoelstellingen		Voldoet ja/nee
		E_{eff} - kind (mSv)*	H_{th} - kind (mSv)*	
1.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen	0,4	500	ja
7.2.2	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling	4	500	ja
7.2.3	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding	40	500	ja
7.3.2.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)	4	500	ja
7.4.2	Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling	4	500	ja
8.2	Lekkage in een leiding van het afgassysteem	0,04	500	ja
8.4.1	Beschadigingen van splijstofelementen tijdens het hanteren	0,4	500	ja
9.1.2	Gevolgen van een aardbeving op het reactorgebouw	4	500	ja

* E_{eff} : Effectieve dosis; H_{th} : Schildklierdosis

Zoals uit tabel 7.9.3.2/1 blijkt, wordt voor alle representatieve begingebourtenissen aan de "radiologische" beschermingsdoelstellingen voldaan. Dit betekent dat de door de representatieve begingebourtenis afgedekte begingebourtenissen eveneens aan de beschermingsdoelstellingen voldoen. Deze conclusie is geldig bij de inzet van ENU, (c-)ERU en MOX.

7.9.3.3 Analyses voor buitenontwerpongevallen

In tegenstelling tot de eerder behandelde veiligheidsanalyses zijn er geen exacte acceptatiecriteria waar buitenontwerpongevallen aan moeten worden getoetst. Voor deze categorie ongevallen wordt daarom vooral ingegaan op het verkleinen van de kans van optreden, zodat escalatie naar ernstige ongevallen met kernschade wordt voorkomen, en het zoveel mogelijk beperken van de nadelige gevolgen.

Voor de buitenontwerpongevallen waarbij een uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) zijn thermohydraulische analyses uitgevoerd. Met de analyses is aangetoond dat dit type ongeval in voldoende mate kan worden beheerst (handhaving langdurige onderkritikaliteit, afvoer vervalwarmte is gegarandeerd, maximaal toelaatbare systeemdrukken worden niet overschreden).

Voor de overige buitenontwerpongevallen, zoals volledig verlies van voedingswater en volledige uitval alle spanningsvoorzieningen, is aangetoond dat deze in voldoende mate kunnen worden beheerst (zie paragraaf 7.7). Voor de beheersing van deze ongevallen wordt een beroep gedaan op verschillende veiligheidssystemen, zoals het primair en secundair reservesuppletiesysteem (RS en TW), backup-spanningsvoorzieningen en *Accident Management* maatregelen (zie paragraaf 12.3).

7.9.4 Probabilistische veiligheidsanalyses

Bij de probabilistische veiligheidsanalyses worden begingebourtenissen geanalyseerd die kunnen resulteren in een kernsmelt en waarbij lozingen van radioactieve stoffen kunnen optreden. Het betreft de zogenaamde ernstige ongevallen.

Volgens de methode van de *Probabilistic Safety Assessment* (PSA) worden de potentiële gevolgen van deze ernstige ongevallen getoetst aan de dosiscriteria zoals vastgelegd in het Besluit Kerninstallaties, splijststoffen en ertsen. Het gaat hierbij om de criteria individueel risico en groepsrisico.

In paragraaf 7.9.4.1 volgt een toelichting op de PSA en de scope van de beschouwde begingebourtenissen. In paragraaf 7.9.4.2 zijn de resultaten met betrekking tot het individueel en groepsrisico opgenomen.

7.9.4.1 PSA

In een PSA worden drie niveaus onderscheiden:

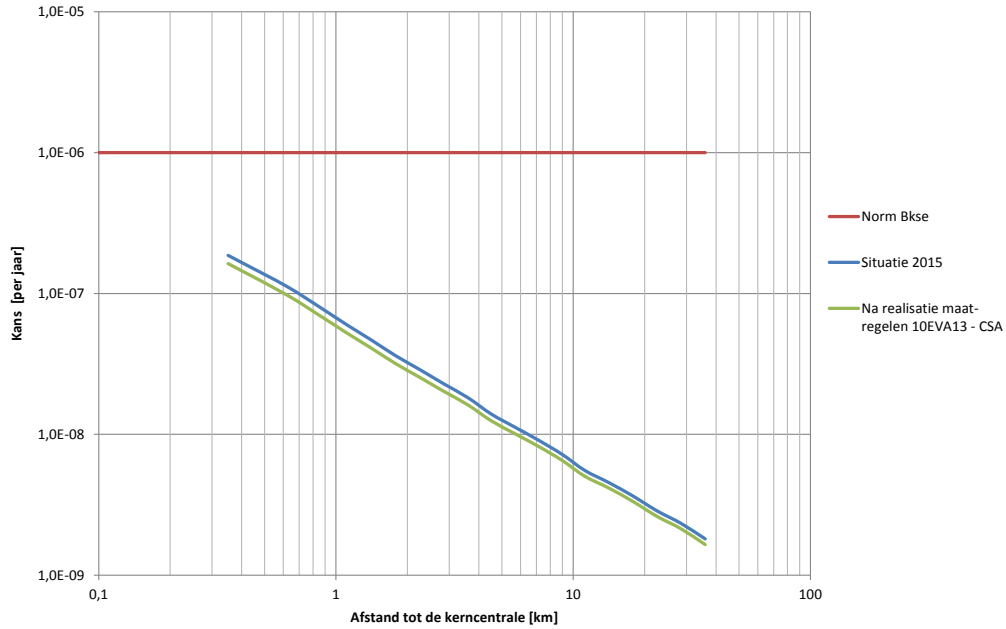
1. in niveau 1 worden begingebourtenissen vastgesteld en ontwikkeld tot ongevalsscenario's die tot kernsmelt kunnen leiden. Het resultaat van dit niveau is de kernsmeltfrequentie;
2. uitgaande van de in niveau 1 bepaalde ongevalsscenario's worden in niveau 2 de mechanismen voor het falen van de veiligheidsomhulling geanalyseerd, alsmede de kans hierop. Het resultaat van dit niveau is voor elk representatief ongevalsscenario een beschrijving van de (eventuele) lozing van activiteit naar de omgeving (lozingscategorie of brontermgroep) en de bijbehorende frequentie;
3. op basis van het spectrum van mogelijke lozingen naar de omgeving worden in niveau 3 de gevolgen voor de omgeving geanalyseerd, en het individueel en het groepsrisico bepaald.

Tot de scope van begingebourtenissen behoren die gebeurtenissen die als gevolg van interne (zoals falen van componenten of menselijk falen) of externe invloeden (zoals een overstroming) kunnen leiden tot kernsmelt. Hierbij is inbegrepen de kans op falen van bedrijfs- en veiligheidssystemen, alsmede menselijk falen. De begingebourtenissen zijn mede afhankelijk van de bedrijfstoestand van de installatie (vermogensbedrijf/niet-vermogensbedrijf).

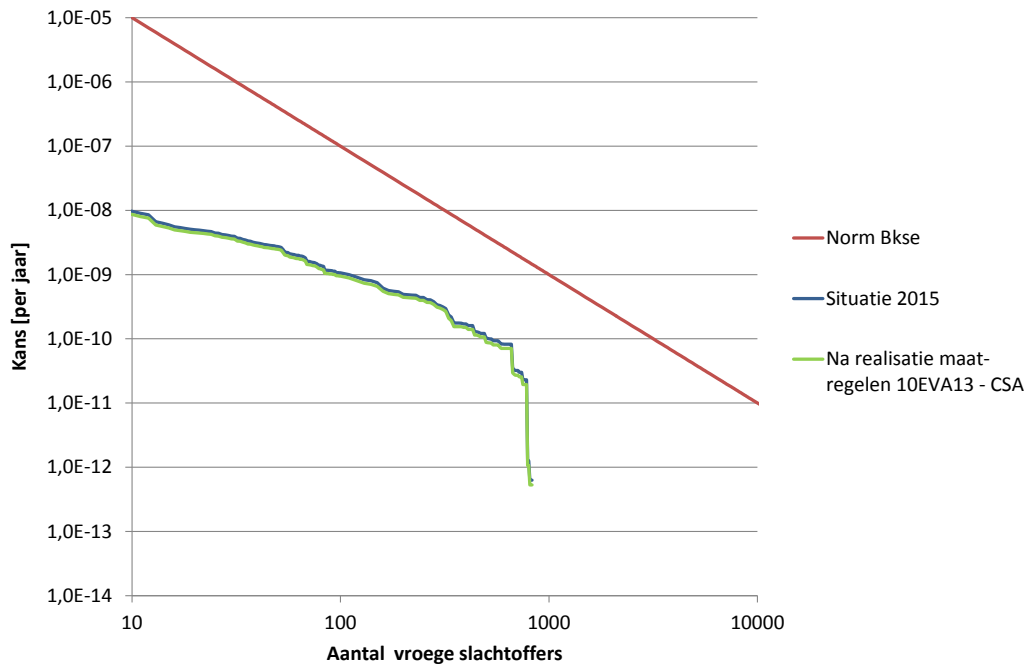
In huidige versie van de PSA worden circa 160 verschillende begingebourtenissen beschouwd.

7.9.4.2 Resultaten m.b.t. individueel risico en groepsrisico

De met behulp van de PSA verkregen resultaten met betrekking tot het individueel risico en het groepsrisico zijn weergegeven in figuur 7.9.4.1/1 en figuur 7.9.4.1/2. In de figuren zijn eveneens de criteria volgens het Besluit kerninstallaties, splijststoffen en ertsen opgenomen.



Figuur 7.9.4.1/1 Individueel risico voor de kritieke groep kinderen



Figuur 7.9.4.1/2 Groepsrisico

Zoals uit figuur 7.9.4.1/1 en figuur 7.9.4.1/2 blijkt, blijven de stralingsrisico's van de KCB tijdens ernstige ongevallen onder de toelaatbare criteria van individueel en groepsrisico zoals gesteld in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. Deze conclusie is geldig bij de inzet van ENU, (c-)ERU en MOX.

N.B. Het door de KCB gebruikte PSA-model is een levend model in die zin dat het model voortdurend op basis van nieuwe gegevens of inzichten wordt verbeterd en/of aangepast. De resultaten weergegeven in figuur 7.9.4.1/1 en figuur 7.9.4.1/2 zijn in dat opzicht een momentopname verkregen met het PSA-model LPSA13.

7.9.5 Conclusie

Door middel van deterministische en probabilistische veiligheidsanalyses is aangetoond dat voor alle beschouwde begingebourtenissen, behorende tot de categorieën normaal bedrijf/storingen, ontwerpongevallen, buiten-ontwerpongevallen en ernstige ongevallen, aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan. Tot de beschermingsdoelstellingen behoren onder andere de door de overheid vastgestelde limieten ten aanzien van lozingen van radioactieve stoffen in de atmosfeer en de daaraan gerelateerde risico's.

Deze conclusie is geldig bij de inzet van ENU, (c-)ERU en MOX.

INHOUDSOPGAVE

8.	INBEDRIJFSTELLING	8-2
8.1	INBEDRIJFSTELLING KCB	8-2

8. INBEDRIJFSTELLING

8.1 INBEDRIJFSTELLING KCB

De kernenergiecentrale in Borssele is in 1973 initieel in bedrijf gesteld. Dat is gebeurd met de gebruikelijke mate van zorgvuldigheid waarbij sterk rekening werd gehouden met de ervaring, deskundigheid en vakkennis van (hoofd)aannemers en hun personeel.

Sindsdien is de centrale continu op details gewijzigd met hoogtepunten qua omvang en investeringsbedrag tijdens de grote modificatiesprojecten in 1997 en 2006 naar aanleiding van de eraan voorafgaande 10-jaarlijkse veiligheidsevaluaties. Deze wijzigingen zijn volgens de heden ten dage nog steeds gebruikelijke zorgvuldigheid in bedrijf gesteld en de documentatie daaromtrent is aangevuld en aangepast en wordt evenals de oorspronkelijke informatie terugvindbaar bewaard (zie ook paragraaf 3.3).

Voor wat betreft de in de toekomst te wijzigen en vervolgens in bedrijf te stellen componenten en systemen van de centrale is er een wijzigingsbeheersproces (meer uitgebreid beschreven in paragraaf 9.5) geïmplementeerd dat zekerstelt dat een wijziging van de KCB niet in strijd is met de uitgangspunten die ten grondslag hebben gelegen aan het ontwerp ervan, dan wel geen negatieve invloed heeft op de veiligheid van de centrale.

Daarnaast zijn configuratiebeheersprocedures geïmplementeerd die waarborgen dat de informatie met betrekking tot het ontwerp en de bouw van de centrale, inclusief de wijzigingen die sindsdien zijn doorgevoerd (denk hierbij onder andere aan ontwerpsspecificaties, wijzigingsplannen en inbedrijfstellingsprotocollen) beschikbaar blijft. De hiervoor bedoelde genoemde procedures maken deel uit van het bedrijfsproces Configuratiebeheer.

Indien wijzigingen worden doorgevoerd waarbij de uitgangspunten van de ontwerpbasis van de installatie worden aangepast, is naast het bovenstaande ook een vergunningswijziging op basis van de Kernenergiewet nodig.

De voornoemde processen zijn in overeenstemming met de van toepassing zijnde regelgeving.

INHOUDSOPGAVE

9.	BEDRIJFSVOERING	9-2
9.1	PROCEDURES	9-2
9.1.1	Inleiding.....	9-2
9.1.2	Administratieve procedures	9-2
9.1.2.1	Periodiek documentreview	9-3
9.1.3	Werkdocumenten.....	9-3
9.1.3.1	Werkdocumenten voor normaal bedrijf.....	9-3
9.1.3.1	Werkdocumenten tijdens storingen	9-5
9.1.3.2	Werkdocumenten tijdens noodsituaties	9-5
9.2	ONDERHOUD, SURVEILLANCE EN IN-SERVICE-INSPECTIE	9-7
9.2.1	Inleiding.....	9-7
9.2.2	Instandhouding	9-7
9.2.2.1	Vaststellen van Instandhoudingsprogramma's	9-7
9.2.2.2	Planning en werkvoorbereiding	9-8
9.2.2.3	Uitvoering van Instandhoudingsactiviteiten	9-8
9.2.2.4	Verouderingsbeheer	9-9
9.2.2.5	Evaluatie	9-9
9.3	PLANNING EN HANTEREN VAN SPLIJTSTOF IN DE KERN	9-10
9.3.1	Inleiding Splijtstofmanagement.....	9-10
9.3.2	Splijtstofmanagement	9-10
9.3.2.1	Verwerving en fabricage	9-10
9.3.2.2	Transport van nieuwe splijtstofelementen	9-10
9.3.2.3	Ingangscntrole splijtstofelementen	9-11
9.3.2.4	Kernontwerp.....	9-11
9.3.2.5	Splijtstofwisseling.....	9-11
9.3.2.6	Hanteren van splijtstofelementen	9-11
9.3.2.7	Kernbewaking, inspecties, beproevingen	9-12
9.3.2.8	Tussenopslag van splijtstofelementen.....	9-12
9.3.2.9	Transport van gebruikte splijtstofelementen	9-13
9.3.2.10	Opwerking en opslag	9-13
9.3.2.11	Stralingsaspecten	9-14
9.3.2.12	Opbrandmetingen	9-14
9.4	VEROUDERINGSBEHEER	9-15
9.4.1	Inleiding.....	9-15
9.4.2	Verouderingsbeheer (VOB) EPZ-KCB.....	9-16
9.5	WIJZIGINGSBEHEER	9-18
9.6	KWALIFICATIE EN TRAINING VAN PERSONEEL	9-19
9.7	MENSELIJKE FACTOREN	9-20
9.8	PROGRAMMA VOOR TERUGKOPPELING BEDRIJFSERVARINGEN	9-25
9.9	DOCUMENTBEHEER	9-26
9.10	SPLIJTSTOFWISSELSTOP	9-28

9. BEDRIJFSVOERING

9.1 PROCEDURES

9.1.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een nadere detaillering van procedures met betrekking tot het kwaliteitsmanagement met inbegrip van veiligheidsmanagement. Het sluit aan op paragraaf 3.1 waarin het veiligheidsmanagement op hoofdlijnen is behandeld en op paragraaf 3.3 waarin het kwaliteitsmanagementsysteem is behandeld. Verder heeft het een relatie met documentbeheer hetgeen in paragraaf 9.9 is behandeld.

De procedures binnen het managementsysteem EPZ-KCB zijn te verdelen in:

- administratieve procedures (zie paragraaf 9.1.2);
 - o uitvoeringsprocedures;
 - o opstelprocedures;
- werkdocumenten (zie paragraaf 9.1.3);
 - o werkdocumenten voor normaal bedrijf;
 - o werkdocumenten voor storingen;
 - o werkdocumenten voor noodgevallen.

In de hierna volgende hoofdstukken worden deze groepen nader toegelicht.

9.1.2 Administratieve procedures

Een administratieve procedure is een document waarin eenduidig taken, verantwoordelijkheden en bevoegdheden worden vastgelegd en waarmee de kwaliteit van de organisatie mede wordt beheerst.

Er worden binnen het IMS (zie paragraaf 3.3) twee typen administratieve procedures onderscheiden:

- uitvoeringsprocedures; Uitvoeringsprocedures, ook wel procesbeschrijvingen genoemd, dekken gezamenlijk alle processen af met enig veiligheidsbelang met betrekking tot de bedrijfsvoering met de KCB. Voor een compleet overzicht wordt doorverwezen naar een selectie van het DMS-AVS;
- opstelprocedures; een Opstelprocedure, ook wel documentsoortspecificatie genoemd, bepaalt de inhoud en de wijze van beheer van een documentsoort. Voor een compleet overzicht van Opstelprocedures wordt doorverwezen naar een selectie van het DMS-AVS. Veel documentsoorten betreffen instructies c.q. werkdocumenten; documenten die in het werk gebruikt worden en vooral een specificerend en/of instruerend karakter hebben.

Het is de verantwoordelijkheid van de daarvoor binnen het IMS (zie paragraaf 3.3) aangewezen procedureverantwoordelijke dat de desbetreffende Opstel- en Uitvoeringsprocedures worden opgesteld en onderhouden. Zij stellen daarmee mede zeker dat relevante eisen uit met name de Kernenergiewetvergunning inclusief de daarin van toepassing verklaarde Nucleaire Veiligheidsregels en richtlijnen (NVR's) en de daarin opgeroepen Technische Specificatie, worden nageleefd.

De managers van hoofdafdelingen zijn met hun verantwoordelijkheid ten aanzien van één of meerdere (Hoofd)processen, ook verantwoordelijk voor het afdekken van een bepaald deel van het regelgevend kader. Zij zorgen voor een adequate mate van beheersing en bepalen de

noodzaak voor bijvoorbeeld een aanvulling op de bestaande set van Uitvoerings- en Opstelprocedures.

De procedureverantwoordelijke autoriseert de Opstel- en Uitvoeringsprocedures. Voor Uitvoerings- en Opstelprocedures is een periodiek review voorgeschreven. De reviewaspecten omvatten naast onder andere inhoudelijke juistheid, effectiviteit en afdekking van regelgeving, vooral ook de begrijpelijkheid, de eenduidigheid en de praktische uitvoerbaarheid.

Het behoort tot de taak van de afdeling Kwaliteitszorg om toezicht te houden op de adequaatheid van beheersing van alle bedrijfsprocessen, op de afdekking van de van toepassing zijnde NVR's en op consistentie binnen het IMS.

9.1.2.1 **Periodiek documentreview**

Ter ondersteuning van managers bij het actueel houden van procedures en instructies behorend tot het Integraal Managementsysteem bestaat bij EPZ-KCB het systeem Periodiek Review. Per documentsoort is een periode vastgesteld (voor het grootste deel liggend tussen 2 en 8 jaar) waarbinnen de betreffende documenten gereviseerd moeten zijn. Richtlijnen om de diverse reviewaspecten, bijvoorbeeld of er voldoende rekening is gehouden met de menselijke factor, na te lopen zijn beschikbaar (zie ook paragraaf 9.7, Menselijke Factoren en paragraaf 9.9, Documentbeheer).

9.1.3 **Werkdocumenten**

Daar waar Uitvoeringsprocedures in grote lijnen een proces beschrijven, zijn Werkdocumenten bedoeld voor een meer gedetailleerde beschrijving.

Werkdocumenten worden vaak 'instructies' of 'voorschriften' genoemd. Bij uitzondering worden ze 'procedures' genoemd.

Werkdocumenten zijn er voor normaal bedrijf, storingen en noodgevallen. Deze kunnen normstellend, specificerend, instruerend, registrerend of rapporterend van aard zijn.

In de volgende paragrafen worden de verschillende soorten Werkdocumenten verder toegelicht.

Uit praktisch oogpunt wordt bij de meeste hierna te noemen Werkdocumentsoorten geen referentie vermeld maar wordt algemeen doorverwezen naar het DMS-AVS waarin gezocht kan worden op "Documentsoort".

9.1.3.1 **Werkdocumenten voor normaal bedrijf**

Per Hoofdproces volgen hier de meest sprekende voorbeelden van werkdocumentsoorten die in alle fases van bedrijfsvoering, zoals opstart, productie en splijtstofwissels, worden gebruikt:

- management en organisatie;
 - o functie-taakomschrijvingen;
 - o vergaderreglementen;
 - o evaluatierapporten; voorbeeld is de tweejaarlijkse evaluatie;
 - o nalevingsoverzichten; dit zijn overzichten die het resultaat zijn van een zogenaamde compliance-check tussen de aan EPZ-KCB opgelegde regelgeving en de procedure(s) of werkdocument(en) waarmee dit vanuit het Integraal Managementsysteem wordt beheerd;

- o contacten met het bevoegd gezag;
- auditing/beheer integraal managementsysteem;
 - o auditrapporten;
 - o verbetermaatregel;
- splijtstofmanagement;
 - o hanteringsvoorschriften, ten behoeve van het hanteren van kerncomponenten;
 - o kernontwerprapport;
Zie verder paragraaf 9.3;
- (radio)chemische bedrijfsvoering;
 - o analysevoorschriften;
 - o instrumenthandleidingen/kalibratievoorschriften;
- inkoop/goederenbeheer proces;
 - o opslag-, conserverings- en transportinstructies;
- radioactief afvalbehandeling;
 - o afvalverwerkingsinstructies;
Zie verder hoofdstuk 14;
- bedrijfsvoering;
 - o beproevingsinstructies annex beproevingsprotocollen; documenten met uit te voeren handelingen en vast te leggen gegevens om aan te tonen dat een component of systeem zijn functies vervult of kan vervullen;
 - o bedieningsinstructies; bevatten de wijze waarop het actief ingrijpen door functionarissen in het procestechnisch functioneren van systemen uitgevoerd dient te worden;
 - o technische specificaties; document wat de volgens de NVR NS-G-2.2 vereiste operationele limieten en voorwaarden bevat met betrekking tot de organisatie en installatie van de KCB. Diverse documentsoorten ontleen hieraan grenswaarden;
 - o statuscontrolestaten; documenten waarmee de status van de installatie wordt opgenomen. Deze status wordt vergeleken met de gewenste status, zoals vastgesteld in de Technische Specificatie.
 - o herkwalificatierichtlijnen; hierin wordt bepaald welke controles en beproevingen uitgevoerd moeten worden na onderhoud om aan te tonen dat een component of systeem gekwalificeerd is voor zijn functie(s);
- milieuzorg;
 - o lijst met Milieu-effecten KCB;
Zie verder hoofdstuk 13;
- ARBO-zorg;
 - o Risico Inventarisatie en Evaluatie (RI&E);
- onderhoud;
 - o instandhoudingsprogramma's. De op de NVR's gebaseerde programma's waarmee de installatie in stand wordt gehouden;
 - o werkomschrijvingen;
 - o werkmappen;
Zie verder paragraaf 9.2;
- configuratiebeheer;
 - o wijzigingsplannen;
 - o bedrijfsmiddelen registratie systeem;
 - o technisch informatie pakket; een gedetailleerde en meer specifieke uitwerking van het Veiligheidsrapport;
 - o systeembeschrijvingen; geven de functie van het systeem binnen de kernenergiecentrale aan en geven tevens aan hoe deze functie bereikt (zie geheel hoofdstuk 6);
 - o uitvoeringsbestek;
 - o inbedrijfstellings(IBM)documenten;

- Zie verder paragraaf 9.5;
- alarmplan; betreft werkdocumenten die worden gebruikt om de alarmorganisatie (mensen en middelen) tijdens de dagelijkse (lees: normale) praktijk gekwalificeerd te houden.
 - o taakomschrijvingen alarmorganisatie;
 - o lijst alarmmiddelen; deze lijsten bevatten alarmmiddelen per groep binnen het alarmplan die voor noodsituaties paraat moeten zijn;
Zie verder hoofdstuk 12;
 - stralingsbescherming;
 - o ALARA-rapporten;
 - o SB-begeleidingsinstructies;
 - o decontaminatie-instructies;
Zie verder paragraaf 11.1.

9.1.3.1 Werkdocumenten tijdens storingen

Hieronder volgen de meest sprekende voorbeelden per hoofdproces van werkdocumenten te gebruiken bij afwijkingen in de installatie:

- management en organisatie;
 - o storingsanalyse; document waarmee de analyseresultaten van een storing worden gerapporteerd;
- bedrijfsvoering;
 - o afwijkingmeldingen; document waarmee afwijkingen ten opzichte van de Basiscondities (dit zijn eisen aan de installatie die strenger zijn dan de Technische Specificatie) worden gemeld ten behoeve van een volledig overzicht van afwijkingen;
 - o gevaarmeldingen; geven de herkomst van een melding op de bedieningspanelen aan;
 - o storingsinstructie; geeft aan hoe te handelen in geval van een specifieke storing;
 - o storingsrapport; hiermee wordt een storing gemeld ten behoeve van een analyse;
 - o statuscontrolestaten: Opnamestaten waarin de status van de veiligheidsfuncties wordt geregistreerd;
 - o noodbedieningsprocedures (NBP's); NBP's dienen als leidraad voor bedieningshandelingen in geval van thermohydraulische bedreigingen van de reactorkern. Ze zijn bedoeld te leiden naar een veilige situatie;
 - o rechtvaardiging voor voortgezet bedrijf; dit document bevat de onderbouwing om verantwoord bedrijf te voeren in geval van bijzondere gebeurtenissen met een mogelijk negatief gevolg op de nucleaire veiligheid en/of stralingsbescherming.

9.1.3.2 Werkdocumenten tijdens noodsituaties

De werkdocumenten voor noodgevallen zijn per hoofdproces:

- bedrijfsvoering;
 - o noodbedieningsprocedures (zie boven);
- alarmplan;
 - o noodbedieningsprocedures (zie boven);
 - o functieherstelprocedures (FHP). De FHP's dienen als hulpmiddel om niet-voorzien (buiten-ontwerp)ongevalssituaties te beheersen of de eventuele gevolgen te beperken;

- Severe Accident Management Guidelines (SAMG's). De SAMG's dienen als hulpmiddel bij een ongeval waarbij uitgevallen veiligheidssystemen het smelten van de kern tot gevolg zouden kunnen hebben;
- alarminstructies personeel; instructie voor de alarmplanfunctionarissen;
- alarminstructies alarmmiddelen; instructies voor het gebruik van alarmplanmiddelen;
- aanvalsplan KCB; een plan dat hulpdiensten (bijvoorbeeld brandweer) informeert over de specifieke risico's op het terrein van de KCB. Bijvoorbeeld de locatie van brandbare of explosieve stoffen.

In hoofdstuk 12 worden het samenstel van NBP's, FHP's en SAMG's en overige Alarmplandocumenten nader toegelicht.

9.2 ONDERHOUD, SURVEILLANCE EN IN-SERVICE-INSPECTIE

9.2.1 Inleiding

Onderhoud, surveillance (bewaken, beproeven, testen) en in-service-inspectie (ISI) van de KCB-installatie is niet los te zien van elkaar. Dat blijkt ook uit het feit dat in de belangrijkste richtlijn binnen het regelgevend kader ten aanzien van dit onderwerp, de NVR NS-G-2.6, Maintenance, Surveillance and In-Service Inspection (ISI) deze zaken in samenhang zijn behandeld.

In het voorliggende hoofdstuk wordt uiteengezet hoe EPZ-KCB zekerstelt dat de in het ontwerp aangebrachte voorzieningen voor een veilige bedrijfsvoering, in stand gehouden blijven. EPZ hanteert voor het samenstel van onderhoud, surveillance, inspectie en beproeven ook wel de term Instandhouding.

Diepgang, omvang en frequentie van onderhoud, surveillance, inspectie en beproeven van Systemen, Structuren en Componenten (SSC's) wordt met name bepaald door hun betekenis voor de (nucleaire) veiligheid. Dit belang wordt aangegeven met een veiligheidsklasse bepaald conform de NVR 2.1.1.

Door de indeling in veiligheidsklassen, die weer gerelateerd zijn aan industriële normen, wordt de mate van vereiste zorgvuldigheid bepaald bij ontwerp (veiligheidsmarge), inkoop, inspectie, onderhoud, wijziging, etc., van de SSC's. Paragraaf 5.5 zet uiteen hoe de klassering van de KCB-installatie is opgezet en hoe het systeem wordt gehanteerd bij wijzigingen.

9.2.2 Instandhouding

9.2.2.1 Vaststellen van Instandhoudingsprogramma's

Bij bepaling van de omvang van Instandhouding van met name veiligheidsgeklasseerde installatiedelen is het regelgevend kader van belang. Naast de Technische Specificaties (zie hoofdstuk 10) en wetten behoren hiertoe ook industriële normstelsels. Binnen deze normstelsels bestaat soms keuzevrijheid.

De scope van Instandhouding, dus welke vorm van monitoring is van kracht op welke veiligheidsgeklasseerde items, wordt ook bepaald door nucleaire veiligheidsprincipes (zoals Single Mode Failure, zie hoofdstuk 5), bedrijfsdoelen, risicoanalyses, kennis en ervaring en leveranciersvoorschriften. Een en ander heeft bij EPZ-KCB geleid tot Instandhoudingsstrategieën voor met name In-Service-Inspectie, Onderhoud en Surveillance.

De Strategieën leiden met name tot de Instandhoudingsprogramma's:

- onderhoud;
- surveillance (bewaken, beproeven, testen);
- in-service-inspectie.

Specifiek geldt voor:

- Onderhoud met betrekking tot brandveiligheidssystemen dat de NVR NS-G-1.7 van toepassing is terwijl de periodieke actualisatie van de brandrisico-analyse ook input levert;
- Surveillance dat voor wat betreft de functionele beproevingen van bepaalde W-componenten/ systemen de ASME OM Code (USA) en voor bepaalde E&I-

componenten/systemen het KTA-stelsel door EPZ van toepassing is verklaard. Voor het overige bestaan de surveillance-activiteiten uit de dagelijkse controlerondes aan de hand van trendmeetstaten en statuscontrolestaten;

- In-Service-Inspectie dat met instemming van de overheid per 1 januari 2008 het Warenwetbesluit drukapparatuur en de Regeling Nucleaire drukapparatuur wordt toegepast en de ASME OM Code (USA) als aanvullende richtlijn wordt gebruikt. Wijzigingen in het ISI-programma behoeven de instemming van de door de overheid aangewezen keuringsinstelling (anno 2014: Lloyds). Zie in dit verband ook paragraaf 6.2.1.2, Beproeving van het Reactorkoel- en drukkoudsysteem.

Een ander soort instandhoudingsprogramma is de lijst met minimaal beschikbare reservedelen. De scope van deze lijst wordt met name bepaald door de per systeem of component in de Technische Specificaties bepaalde AOT (Allowable Outage Time) waarbinnen herstel of vervanging gerealiseerd moet zijn om aan de beschikbaarheidseisen te voldoen.

Aangepaste en aangevulde Instandhoudingsprogramma's worden periodiek gecontroleerd op conformiteit met voornoemde regelgeving en de Kernenergiewetvergunning.

9.2.2.2 Planning en werkvoorbereiding

Een plannings- en werkordersysteem is in werking om zeker te stellen dat alle voorgenomen instandhoudingsactiviteiten ook daadwerkelijk worden voorbereid en uitgevoerd. Van hieruit wordt de planning en werkvoorbereiding gestart. Voor de Instandhoudingsactiviteiten met enig veiligheidsaspect zijn instructies zoals werkschrijvingen beschikbaar. Aanvullingen of aanpassingen van de programma's leiden zo nodig tot aanvullingen en aanpassingen van instructies.

Voor dit proces zijn diverse procedures in werking.

De planning van Instandhoudingsactiviteiten met betrekking tot veiligheidsgeklasseerde SSC's wordt per week vastgesteld. De PSA (Probabilistische Safety Assessment) wordt hierbij gebruikt om onnodige verhoging van de kernsmeltfrequentie (TCDF) te voorkomen en op jaarbasis beneden een vastgesteld maximum te houden.

Het resultaat van de planning en werkvoorbereiding is een zogenaamde Werkmap die alle voor de activiteit benodigde instructies, gegevens en voorzorgsmaatregelen bevat.

9.2.2.3 Uitvoering van Instandhoudingsactiviteiten

Nadat aan het regelzaalpersoneel is verzocht te mogen werken aan het bedoelde component of systeem, zal indien mogelijk dit door hen worden vrijgeschakeld en wordt een werkvergunning gegeven. De voorbereide werkzaamheden worden vervolgens volgens instructies in de Werkmap uitgevoerd waarbij de voorgeschreven te vergaren gegevens en geconstateerde afwijkingen worden vastgelegd (bijvoorbeeld in een beproevingsprotocol). Na de werkzaamheden wordt het betreffende component of systeem weer aan het regelzaalpersoneel voor eventuele herkwalificatie en vervolgens voor verdere bedrijfsvoering.

De vergaarde gegevens worden overgebracht in de daarvoor bestemde informatiesystemen. Deze worden en periodiek geanalyseerd. Onder andere worden hieruit de actuele status van de installatie en de restlevensduur (zie paragraaf 9.4) bepaald.

9.2.2.4 Verouderingsbeheer

Verouderingsbeheer (VOB) is een deelproces van het hoofdproces Onderhoud waarbinnen interne en externe informatie wordt vergaard met de bedoeling de gevolgen van de voor de KCB-installatie relevante verouderingsfenomenen te beperken door een andere manier van instandhouding (onderhoud, surveillance, inspecteren of beproeven) en of ((radio)chemische) bedrijfsvoering. In paragraaf 9.4 wordt Verouderingsbeheer behandeld.

9.2.2.5 Evaluatie

Jaarlijks worden alle Hoofdprocessen geëvalueerd; dus ook de ten aanzien van Instandhouding onderhavige Hoofdprocessen. Diverse bronnen worden daarbij gebruikt zoals gegevens vergaard tijdens instandhoudingsactiviteiten, interne en externe operationele ervaringen (zie paragraaf 9.8, Programma voor terugkoppeling van bedrijfservaringen) en de resultaten van de op dit proces periodiek gehouden audits en inspecties (zie paragraaf 3.3, Kwaliteitsmanagement). Het resultaat is een set van aanbevelingen met betrekking tot de effectiviteit en compleetheid van programma's, de werkmethodes, de te vergaren informatie en de kennis en vaardigheden van het personeel (zie paragraaf 9.7).

Deze evaluatie draagt ook bij aan de vergunningsplichtige twee- en tienjaarlijkse evaluatie (zie paragraaf 3.1).

Alle voornoemde instandhoudingsactiviteiten liggen vast in geautoriseerde procedures en instructies.

9.3 PLANNING EN HANTEREN VAN SPLIJTSTOF IN DE KERN

9.3.1 Inleiding Splijtstofmanagement

Binnen het Hoofdproces Splijtstofmanagement worden in hoofdlijn de volgende taken onderscheiden:

- verwerving van splijtstof;
- fabricage van splijstofelementen;
- transport van nieuwe splijstofelementen;
- ontvangst en ingangscntrole splijstofelementen;
- totstandkoming van het periodieke kernontwerp;
- periodieke splijtstofwisseling;
- hanteren van splijstofelementen;
- kernbewaking, inspecties en beproevingen;
- tussenopslag van gebruikte splijstofelementen;
- transport van gebruikte splijstofelementen;
- opwerking;
- opslag radioactief afval.

Daar waar hierboven 'splijstofelementen' staat, zijn ook bedoeld alle overige in de reactor in te zetten componenten (bijvoorbeeld regelstaven), als geheel ook wel aangeduid als 'kerncomponenten'.

Het uitgangspunt van dit Hoofdproces is dat de hoeveelheid splijtings- en activeringsproducten in het primaire systeem en in gasvormige lozingen volgens het 'ALARA'-principe beperkt wordt.

Voor het gehele proces geldt dat afwijkingen worden geregistreerd en passende maatregelen worden doorgevoerd om herhaling te voorkomen (zie paragraaf 9.9).

9.3.2 Splijtstofmanagement

9.3.2.1 Verwerving en fabricage

Splijstofelementen en overige kerncomponenten worden in overeenstemming met het ontwerp gespecificeerd. Vervolgens wordt een gekwalificeerde fabrikant/leverancier geselecteerd en wordt een order geplaatst. De voorkeursleverancier is AREVA (voorheen Kraftwerk Union, Duitsland). In het contract tot einde bedrijfsduur is vastgelegd dat EPZ-KCB of een door EPZ-KCB aangewezen derde, gedurende het gehele fabricageproces toegang heeft tot de fabricagelocaties om het fabricageproces te kunnen controleren.

9.3.2.2 Transport van nieuwe splijstofelementen

Het transport voor de aanvoer van nieuwe splijstofelementen gebeurt met een speciaal voor dat doel ontworpen transportcontainer. Het transport wordt verzorgd door de fabrikant van de splijstofelementen (AREVA NP, Lingen, Duitsland of AREVA NC, Marcoule, Frankrijk). Deze firma is verantwoordelijk voor de uitvoering van het transport, alsmede voor het verkrijgen van, en het beschikken over, de benodigde vergunningen voor het transport en de invoer van de nieuwe splijstofelementen.

9.3.2.3 Ingangscontrolle splijtstofelementen

Nieuwe elementen worden aan de hand van Fysica-instructies gecontroleerd op vastgestelde specificaties. Vervolgens worden ze in het Splijtstofopslagbassin (SOB, zie 6.9.2) geplaatst in afwachting van hun inzet in de kern.

9.3.2.4 Kernontwerp

Voorafgaand aan een splijtstofwisseling wordt een nieuw Kernontwerprapport opgesteld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gevalideerde computerprogramma's en fysische (opbrand)gegevens van nieuwe en reeds ingezette splijtstofelementen. Onafhankelijke interne en externe (NRG) controle waarborgen dat het ontwerp voldoet aan de eisen. Hiermee wordt zeker gesteld dat de KCB met het nieuwe kernontwerp blijft opereren binnen de vastgestelde Technische Specificaties (zie hoofdstuk 10).

9.3.2.5 Splijtstofwisseling

Voor de splijtstofwisseling dient de installatie zich in Bedrijfstoestand 6b te bevinden zoals bepaald volgens de Technische Specificaties (zie hoofdstuk 10).

Tijdens de splijtstofwisseling wordt onder andere de boorzuur (B- en B-10-)concentratie en het waterniveau in het SOB regelmatig gecontroleerd. De radioactiviteit van de lucht in het reactorgebouw en de stralingsbelasting voor het personeel wordt continu bewaakt.

De voorbereiding van de splijtstofwisseling gebeurt aan de hand van het goedgekeurde Kernontwerprapport en resulteert onder andere in de Verplaatsingsopdracht volgens welke de splijtstofelementen verplaatst worden.

9.3.2.6 Hanteren van splijtstofelementen

De fysische gegevens, bijvoorbeeld de mate van opbrand, en de plaats en positie van elk splijtstofelement zijn te allen tijde bekend en vastgelegd. Hiervoor wordt een boekhouding bijgehouden.

Elke verplaatsing of verandering van positie van een splijtstofelement gebeurt aan de hand van een Verplaatsingsopdracht en bijbehorend Hanteringsvoorschrift.

De mechanische belastingen op de splijtstofelementen gedurende het hanteren worden door het ontwerp inclusief dat van hulpmiddelen, procedures en goed geïnstrueerd en getraind personeel (paragraaf 9.7) voldoende beperkt om schade aan de splijtstofelementen te voorkomen.

Verplaatsing van gebruikte splijtstofelementen gebeurt altijd onder bescherming van voldoende water ten behoeve van de radiologische afscherming (zie paragraaf 6.9.1 en paragraaf 6.9.2).

Bij het hanteren van de splijtstofelementen kunnen de volgende middelen worden gebruikt:

- splijtstofwisselmachine (zie paragraaf 6.9.1.2);
- splijtstofelementen-handgrijper;
- polaire kraan in het reactorgebouw bij gebruik handgrijper;
- overnamestation (alleen bij nieuwe splijtstofelementen en bij opbrandmetingen).

Alle voor het hanteren van splijstofelementen in te zetten hulpmiddelen zijn opgenomen in de preventieve programma's voor onderhoud, inspectie, bewaking en testen (zie paragraaf 9.2) zodat de faalkans minimaal is.

Het beladen van de aftransportcontainer vindt plaats met de polaire kraan van het reactorgebouw waaraan met een verlengkabel een splijstofelement- handgrijper is gehangen. De verlengkabel is zo gedimensioneerd dat het splijstofelement zich in de bovenste stand van de kraan nog circa 3 meter onder het wateroppervlak bevindt.

Om storingen gedurende het hanteren van de splijstofelementen die tot beschadiging van de splijstofelementen en dus tot mogelijk vrijkomen van radioactieve stoffen zouden kunnen leiden te voorkomen, wordt standaard gebruik gemaakt van de splijstofwisselmachine en onder voorwaarden en bij uitzondering van de splijstofelementenhandgrijper.

Ondanks deze voorzorgsmaatregelen wordt bij de veiligheidsanalyses verondersteld dat een splijstofelement uit de wisselmachine valt en daarbij een aantal andere splijstofelementen beschadigt (zie paragraaf 7.5.5.7). Uit de analyse volgt dat de radiologische gevolgen voor de omgeving binnen de gestelde grenzen blijven.

9.3.2.7 Kernbewaking, inspecties, beproevingen

Een Splijstofmanagementprogramma is in werking volgens welke het kernsplijtingsproces wordt gemonitord en de relevante installatiedelen en middelen periodiek worden geïnspecteerd, beproefd en onderhouden. Zo worden bijvoorbeeld de lassen van de RVS-bekleding (zie paragraaf 6.9.1.2) van het SOB periodiek gecontroleerd op lekkage. Bij afwijkingen worden passende maatregelen genomen.

Het ontwerp (zie paragraaf 6.1) en de organisatorische maatregelen zoals de voor elke denkbare actie beschikbare gevalideerde instructies, bijvoorbeeld hoe te handelen bij storing aan een regelstaaf, waarborgen dat de bedrijfsvoering met de kern binnen de Technische Specificaties blijft (zie hoofdstuk 10).

9.3.2.8 Tussenopslag van splijstofelementen

Splijstofelementen worden in afwachting van hun inzet in de kern of afvoer ten behoeve van opwerking, tijdelijk opgeslagen in het splijstofopslagbassin. Met de geometrie van de opslagrekken (zie paragraaf 6.9.1), het splijstofopslagbassinkoelsysteem (TG) die het SOB gevuld houden met de juiste concentratie geboreerd water (zie paragraaf 6.9.2) en de mechanische afsluiting van bepaalde posities in het SOB, is te allen tijde de ondercriticaliteit van $k_{\text{eff}} < 0,95$ en voldoende afvoer van warmte en bescherming tegen ioniserende straling verzekerd. De zekerstelling van de ondercriticaliteit geldt zelfs als hierbij wordt uitgegaan van de situatie dat alle niet afgedekte posities zijn gevuld met nieuwe Uraan 4,4 elementen en/of MOX-elementen en er demiwater wordt gebruikt voor de koeling.

In de praktijk is het water in het SOB geboreerd tot minimaal 2300 ppm waarin het boor-10 gehalte minimaal 32 gew. % is conform de Technische Specificaties (zie hoofdstuk 10). Verder is slechts een gedeelte van de beschikbare plaatsen daadwerkelijk door nieuwe splijstofelementen bezet, zodat in feite de vermenigvuldigingsfactor k_{eff} aanzienlijk lager is.

Het splijstofopslagbassinkoelsysteem (TG) stelt de afvoer van vervalwarmte van splijstofelementen, opgeslagen in het SOB zeker (paragraaf 6.9.2).

Het voorgeschreven minimale waterniveau in het SOB (22,70 m) en de minimale waterkolom (2,70 m) boven de splijstofelementen, garandeert dat het dosistempo aan de rand van het SOB ruim onder de maximaal toegestane waarde blijft.

Veiligheidsrelevante procescondities zoals het minimale SOB-niveau, worden gemonitord aan de hand van Controlestaten Installatiestatus.

9.3.2.9 Transport van gebruikte splijstofelementen

Het transport voor de afvoer van de gebruikte splijstofelementen gebeurt met een speciaal voor dat doel ontworpen transportcontainer (zie paragraaf 6.9). Het transport wordt verzorgd door gespecialiseerde firma's. Deze firma's zijn verantwoordelijk voor de uitvoering van het transport naar de opwerkingsfabriek (La Hague, Frankrijk), alsmede voor het verkrijgen van en het beschikken over de benodigde vergunningen voor het transport gebruikte splijstofelementen. EPZ is daarbij zelf verantwoordelijk voor het aanvragen en verkrijgen van de benodigde overbrengingsvergunning conform richtlijn nr. 2006/117/Euratom van de Raad van de Europese Unie.

9.3.2.10 Opwerking en opslag

EPZ laat het plutonium uit haar gebruikte splijstof terugwinnen om dit gebruiken bij de productie van MOX-elementen. Tot 2011 werden deze MOX-elementen ingezet in buitenlandse centrales. Vanaf 2011 heeft EPZ vergunning deze MOX-elementen zelf in te zetten als splijstof voor de KCB.

Het herwonnen uranium uit de gebruikte splijstof is deels verkocht en deels hergebruikt voor eigen splijstofelementen.

Het hoogradioactieve residu van het opwerkingsproces wordt in verglaasde vorm teruggebracht naar de COVRA in Vlissingen.

EPZ houdt toezicht op deze uitbestede werkzaamheden.

De materiaalbalans van de splijstofcyclus is zo ontworpen dat er uiteindelijk alleen geconditioneerd radioactief afval resteert. Al het EPZ-plutonium zal worden hergebruikt en niets daarvan zal als afval terugkomen naar EPZ (lees: COVRA).

Het bovenstaande proces van opwerking, inclusief de terugname van het radioactief afval, is onderwerp van de intergouvernementele overeenkomst die tussen de Staat der Nederlanden en de Franse Republiek is gesloten (Tractatenblad 2014, nr. 17).

De COVRA is bij wet de organisatie die het in Nederland ontstane radioactief afval, dus ook dat van de KCB, voorlopig voor tenminste 100 jaar opslaat. Daarna volgt definitieve geologische opslag.

Bij de formele overdracht van het afval aan COVRA overhandigt EPZ de vereiste gegevens met betrekking tot het afval.

9.3.2.11 Stralingsaspecten

De dosistampi zijn voor een (fictief) volledig gevuld Spleijstofopslagbassin in de ruimtes rond het SOB bepaald voor Uraan-spleijstofelementen met een verrijking van 4,4 % w/o, gerecycleerd Uraan-spleijstofelementen met een verrijking van 4,65 % w/o, en/of MOX-spleijstofelementen. De maximale effectieve jaardosis voor een werknemer is hierbij vastgesteld op 1,4 mSv.

Met deze berekeningen is aangetoond dat de effectieve jaardosis voor werknemers als gevolg van de elementen in het SOB ver beneden de wettelijke en intern gehanteerde dosislimieten liggen.

Voor overige stralingsaspecten wordt verwezen naar hoofdstuk 11.

Gedurende het hanteren van spleijstofelementen wordt de eventuele afgifte van radioactiviteit gecontroleerd. Het personeel wordt bij te hoge radioactiviteit direct uit de veiligheidsomhulling verwijderd. Onacceptabele afgifte van radioactiviteit naar de omgeving treedt niet op (zie paragraaf 7.5.5.7).

9.3.2.12 Opbrandmetingen

EPZ maakt gebruik van een opbrandmeter voor het bepalen van de verspleijtingsgraad van de spleijstof, oftewel de opbrand van een spleijstofelement nadat deze uit de reactor is verwijderd (eenheid MWdag/kg HM).

Deze metingen met de opbrandmeter kunnen, overeenkomstig het goedkeuringscertificaat van de gebruikte transportcontainers, noodzakelijk zijn om de gebruikte spleijstofelementen naar de opwerkingsfabriek te mogen afvoeren. Een minimale opbrand is daarbij een zekerstelling voor een voldoende laag niveau van het resterend gehalte aan spleijbaar materiaal in een spleijstofelement, zodat de onderkritikaliteit van de vervoerde inhoud tijdens het transport onder alle omstandigheden is gegarandeerd.

De opbrandmeter bevat 3 detectoren, elk met circa 1,15 gram uranium met een gehalte van circa 93% uranium-235 en circa 7% uranium-238 (activiteit per detector circa 3,7 megabequerel), welke als ingekapselde bron kunnen worden beschouwd. De metingen met deze detectoren vinden plaats in het radiologisch gecontroleerde gebied van de KCB; specifiek in het spleijstofopslagbassin waar de gebruikte spleijstofelementen worden opgeslagen.

9.4 VEROUDERINGSBEHEER

9.4.1 Inleiding

Technische installaties zijn onderhevig aan veroudering. Mede in verband met de bedrijfsduur van de KCB tot 2034 vormt dit een belangrijk aandachtspunt t.a.v. de handhaving van de nucleaire veiligheid. Ten aanzien van verouderen worden drie vormen onderscheiden:

Fysische veroudering

Dit is de veroudering die veroorzaakt wordt door geleidelijke degradatie van materialen onder invloed van tijd en/of door gebruik. Fysische veroudering kan plaatsvinden in componenten die actief bewegen om hun functie uit te oefenen zoals kleppen, maar ook in passieve delen van de installatie zoals leidingen en vaten.

Fysische veroudering van passieve componenten betreft bijvoorbeeld verbrossing van het materiaal onder invloed van bestraling, corrosie of vermoeiing door bijvoorbeeld thermische transiënten waardoor de integriteit in het geding is en lekkage kan optreden. De fysische veroudering van actieve componenten uit zich bijvoorbeeld in het niet meer helemaal lek dicht afsluiten van een klep of een verminderde opbrengst van een pomp.

Fysische veroudering wordt beheerst via de onderhouds-, surveillance- en inspectieprogramma's (ook wel Instandhouding genoemd, zie hiervoor paragraaf 9.2). Dit geldt zowel voor passieve als voor actieve SSC's.

Het beheersen van fysische veroudering van passieve SSC's vereist daarboven een integrale benadering aangezien voor het bepalen van de verouderingsstatus van een passief component de coördinatie vereist is van verschillende experts zodat het belang van ogenschijnlijke onbeduidende waarnemingen toch op de juiste waarde ingeschat kan worden. Daarnaast is de invloed van diverse disciplines zoals (chemisch) bedrijfsvoeren, inspecteren, beproeven en onderhouden organisatorisch verspreid over de gehele organisatie.

Om dit te realiseren is voor passieve SSC's die van belang zijn voor de nucleaire veiligheid naast de bestaande instandhouding een overkoepelend beheersingsproces geïmplementeerd dat alle onderliggende activiteiten integraal beschouwd. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 9.2.

Conceptuele veroudering

Dit is de veroudering die plaatsvindt wanneer bijvoorbeeld de veiligheidsfilosofie rondom kernenergie verandert of wanneer de "state-of-the-art" op een hoger peil wordt gebracht. Het streven naar verbetering op het gebied van veiligheid vereist een periodieke evaluatie van nieuwe ontwikkelingen. Tijdens de tienjaarlijkse veiligheidsevaluaties, waarvan de aanpak is behandeld in paragraaf 3.1, krijgt dit ruime aandacht.

Technologische veroudering

Deze vorm van veroudering wordt veroorzaakt doordat bijvoorbeeld onderdelen niet meer geleverd kunnen worden of kennis en kunde in de organisatie of daarbuiten niet meer voldoende is om het betreffende systeem of component te kunnen onderhouden. De Engelse term voor deze vorm van veroudering is "obsolescence". Hierbij kan gedacht worden aan analoge besturingssystemen maar ook aan de beschikbaarheid van reserveonderdelen. Technologische veroudering van de KCB wordt beheerst door delen van het Instandhoudingsproces (zie paragraaf 9.2, Onderhoud, bewaking, inspectie en testen).

9.4.2 Verouderingsbeheer (VOB) EPZ-KCB

In paragraaf 9.2, Onderhoud, bewaking, inspectie en testen, wordt beschreven hoe de KCB-installatie in de technische toestand gehouden blijft die noodzakelijk is voor het vervullen van haar functies.

Een deel van het Onderhoudsproces maar ook delen van de Hoofdprocessen (Radio)Chemische Bedrijfsvoering en Bedrijfsvoering spelen een belangrijke rol bij het beheersen van fysische veroudering.

Vanuit wereldwijde ervaring bij kerncentrales is bekend dat voor adequaat Verouderingsbeheer (VOB) van passieve SSC's een integrale en gecoördineerde aanpak nodig is. VOB is een verzamelterm, waarin alle activiteiten die gericht zijn op het beheersen van (fysische) veroudering ondergebracht zijn. VOB heeft zijn uitwerking op meerdere processen in het Hoofdproces Onderhoud en is daarom daarin ondergebracht.

Regelgeving schrijft voor veiligheidsrelevante passieve structuren en componenten een integraal VOB voor. Bij EPZ is hiervoor een procedure ingericht waarin de bestaande instandhoudingsactiviteiten voor passieve SSC's geïntegreerd worden in een bovenliggend VOB-proces.

Het VOB-proces bevat de volgende elementen:

- scopebepaling; Verouderingsbeheer richt zich op de passieve SSC's die van belang zijn voor het handhaven van de nucleaire veiligheid, zoals leidingen, pomp- en klephuizen en kabels en draden;
- identificatie van verouderingsmechanismen; De verouderingsmechanismen die voor KCB relevant zijn, worden geïnventariseerd en het resultaat wordt beschreven in catalogi voor mechanische, elektrische en bouwkundige verouderingsmechanismen. Deze catalogi bevatten algemene informatie over de mechanismen en relevante condities waaronder zij op kunnen treden, typische componenten of bekende gebieden die er gevoelig voor kunnen zijn, inspectie- en detectiemethoden en manieren om de mechanismen te voorkomen of te beheren of de gevolgen ervan te herstellen. Interne en externe (WANO of de VGB) ervaringen worden hierbij gebruikt (zie paragraaf 9.8, Programma voor Terugkoppeling Bedrijfservaringen);
- beschrijving verouderingsbeheersing van SC's; Voor alle SC's of groepen van SC's in de scope van het verouderingsbeheerproces worden beschrijvingen opgesteld waarin de vereiste beheersaspecten voor de relevante verouderingsmechanismen, gebaseerd op een evaluatie van ontwerpgegevens, materiaaleigenschappen, omgevingscondities en de voornoemde interne en externe ervaringen en wetenschappelijke kennis, zijn bepaald. Aangezien het gaat om een integrale en multidisciplinaire component-georiënteerde benadering zijn er werkgroepen ingericht om het verouderingsbeheersingsbeleid van een SC of groep SC's te bepalen en periodiek bij te stellen.
- beheerprogramma's; De aanwezige en verworven kennis wordt omgezet in Verouderingsbeheerprogramma's (VBP) die gecommuniceerd worden met de uitvoerende organisatie en die input leveren voor de volgende deel- of hoofdprocessen:
 - o deelproces waarin de Instandhoudingsprogramma's worden bijgesteld en gereviewed (onderdeel van het hoofdproces Onderhoud), bijvoorbeeld voor de uitbreiding van het In-Service-Inspectieprogramma;
 - o bedrijfsvoering; bijvoorbeeld voor een nieuwe wijze van bedrijfsvoering waarbij de installatie minder belastende transiënten ondergaat;
 - o (radio)chemische bedrijfsvoering, bijvoorbeeld voor het wijzigen van het zuurstofgehalte of de zuurgraad in een procesmedium;
 - o configuratiebeheer, bijvoorbeeld voor het wijzigen binnen de grenzen van het ontwerp van toe te passen materialen of materiaalbehandelingen.

Een voorbeeld van een beheerprogramma is het reactorvat surveillanciprogramma waarbij proefstaven van hetzelfde materiaal als dat van het reactorvat gedurende langere tijd in het reactorvat worden gehangen om meer te weten te komen over de verouderingseffecten in een hoogstralende omgeving. Een ander voorbeeld van een samplingprogramma is een kabeldeponie waarbij kabels dicht bij de hoofdkoelmiddelleidingen opgehangen zijn om het effect van straling en temperatuur te kunnen monitoren. KCB werkt hierin samen met Duitse en Zwitserse centrales in VGB-verband. Een gezamenlijke kabeldeponie is onder gebracht bij een van de betrokken centrales.

- verwerken en analyseren van gegevens; Interne en externe (internationale) ervaringen, verouderingsbeheerstrategieën en gegeven adviezen worden opgenomen in de VOB-database. Operationele resultaten die iets kunnen zeggen over de effectiviteit van de VOB worden geanalyseerd en geëvalueerd.
- Ageing Management Review; Het Verouderingsbeheersproces wordt tijdens relevante gebeurtenissen en op een regelmatige grondslag door de relevante SC werkgroep op effectiviteit geëvalueerd. Verbeteracties hieruit voortkomend worden op voortgang bewaakt en tot voltooiing gebracht.

Uitgangspunten, randvoorwaarden en inrichting van VOB zijn vastgelegd in het Handboek VOB.

Aan de richtlijnen voor VOB voor kernenergiecentrales wordt met het hierboven beschrevene invulling gegeven.

9.5 WIJZIGINGSBEHEER

Het wijzigingsproces is een deelproces binnen het Hoofdproces Configuratiebeheer en is geschikt voor alle soorten wijzigingen; dus (ook softwarematige) wijzigingen van de installatie, de operationele limieten en voorwaarden (dit zijn de Technische Specificaties, behandeld in hoofdstuk 10), de organisatie, etc.

Het proces wordt doorgaans (zie opmerking verderop) geïnitieerd vanuit het Portfoliomanagementproces waarbinnen uit een probleemdefinitie via urgentiebepaling met betrekking tot de nucleaire veiligheid en een analyse van oplossingsalternatieven gekomen kan worden tot een Wijzigingsplan, eventueel voorafgegaan door een Wijzigingsvoorstel.

Het wijzigingsproces bevat de volgende kritische stappen:

- het tot stand laten komen van een Wijzigingsplan waarin het pakket van ontwerpisen en overige eisen uit opgelegde regelgeving en de mee te wijzigen documentatie zijn aangegeven en waarin wordt aangetoond dat de voorgenomen wijziging in overeenstemming zal blijven met het oorspronkelijke ontwerp en/of de regelgeving. Er is een uitgebreide checklijst beschikbaar waarmee relevante aspecten van een wijziging worden afgevraagd. Met name de menselijke aspecten van een wijziging (te denken valt aan ergonomie, benodigde training en opleiding) worden beoordeeld;
- het op basis van de vastgestelde criteria, waaronder de veiligheidsklassering (zie paragraaf 5.5), al dan niet opstellen van een Ontwerpverificatie waarbij onafhankelijk wordt getoetst op de overeenkomstigheid van de wijziging met het ontwerp zoals beschreven in het Veiligheidsrapport;
- het afhankelijk van de nucleaire veiligheidsrelevantie al dan niet ter goedkeuring voorleggen van het Wijzigingsplan aan de Wijzigingscommissie, de Human-Machine-Interface (HMI)-groep, de RBVC en de toezichhoudende overheid. In Vergaderreglementen worden de rollen die deze partijen en de afzonderlijke leden spelen, bepaald;
- het vertalen van het Wijzigingsplan in detailengineering- c.q. uitvoeringsdocumenten, inclusief het vaststellen van de specificaties van in te kopen goederen en diensten;
- het aantonen dat het gewijzigde inderdaad de bedoelde functies verricht of beheerst. Voor installatiewijzigingen is dit de zogenaamde Inbedrijfstellingsfase;
- de overdracht van het gewijzigde aan de operationele afdelingen inclusief de complete set van as-built gemaakte documentatie en de waar nodig noodzakelijke training en opleiding.

Voor alle formele documenten die binnen het wijzigingsproces ontstaan, is een reviewtraject bepaald in de desbetreffende Opstelprocedures.

Het 'grading'-principe indachtig worden wijzigingen die nucleair niet of minder veiligheidsrelevant zijn, een beperkte omvang hebben en/of organisatorisch overzichtelijk zijn, kleine wijzigingen genoemd die het gelijknamige traject volgen binnen in het wijzigingsproces.

Het wijzigingsproces wordt jaarlijks zelf geëvalueerd en elke 3 jaar geaudit. Tussentijds zullen er inspecties worden gedaan, toegespitst op een bepaald aspect, indien daar aanleiding toe bestaat.

Voor tijdelijke wijzigingen is een procedure behorende tot het Hoofdproces Bedrijfsvoering van toepassing.

9.6 KWALIFICATIE EN TRAINING VAN PERSONEEL

Het kwalificeren en gekwalificeerd houden van personeel dat ingezet wordt bij EPZ-KCB, is onderdeel van het Hoofdproces Personeelsmanagement en wordt beheerst volgens de procedure “Het vaststellen van kwalificaties en competenties en het (her)opleiden van personeel”. Het betreft het voltallige eigen personeel dus ook managers en directie, en derden.

Kwalificatie en training van personeel omvat in hoofdlijnen:

- het vaststellen van het opleidingsbeleid;
- het vaststellen van de vereiste kwalificaties per functie. Het gaat hierbij om nieuwe medewerkers, medewerkers die nieuw in hun functie zijn, medewerkers die voorbereid worden op een toekomstige functie en derden.
In paragraaf 3.1, Organisatie van Veiligheidsprocessen, is beschreven hoe de (her)inrichting van de organisatie is beheerst. Een belangrijk element daarbij is de Functietaakomschrijving (FTO) die per functie is vastgesteld en waarin ook kwalificatie-eisen zijn bepaald. Deze kwalificatie-eisen zijn vervolgens overgenomen in het Register Kwalificaties en Competenties.
N.B.: De kwalificatie-eisen met betrekking tot de Alarmresponsorganisatie worden bepaald binnen het Hoofdproces Alarmplan, beschreven in hoofdstuk 12;
- het vaststellen van opleidingsprogramma's. Per kwalificatie-eis wordt een opleidingsprogramma bepaald, omvattende de leerstof, de didactische methodes (bijvoorbeeld Training on the Job), de leerprincipes, de eventuele herhalingsfrequentie en/of het opleidingsinstituut (het kan ook een in-company-training zijn). Dit is de basis voor het Opleidingsjaarplan.
De menselijke factor is een belangrijk uitgangspunt bij het vaststellen van de methodes. Zo wordt onder andere gebruik gemaakt van Mock-up's, staat er een realistische KCB-specifieke simulator ter beschikking en wordt er gebruik gemaakt van een meer algemene Procesflowsimulator;
- het trainen en opleiden van het personeel inclusief de formele kwalificatie. De na de training en opleiding behaalde kwalificaties worden geregistreerd in het Register Kwalificaties en Competenties. De kwalificatie van regelzaalpersoneel vindt pas plaats na het met goed gevolg afgerond hebben van een mondeling examen waarbij een gecommiteerde van de toezichhoudende overheid aanwezig is.
Per individu, afdeling of hoofdafdeling is de mate waarin voldaan is aan de kwalificatie-eisen inzichtelijk;
- de evaluatie van de effectiviteit van kwalificatie en training. Jaarlijks wordt het opleidingsproces geëvalueerd (zie paragraaf 3.1). Bij de evaluatie wordt statistiek gebruikt uit de storingsevaluatie en het register met low-level meldingen. De resultaten van de evaluatie dienen als input voor de continue verbetering van het opleidingsproces.

9.7 MENSELIJKE FACTOREN

Dit hoofdstuk heeft een sterke relatie met paragraaf 3.2, Veiligheidscultuur.

Menselijke fouten zijn één van de meest voorkomende oorzaken dat zaken anders lopen dan verwacht. In werksituaties kan dit leiden tot bedrijfsstoringen, beschadigingen, onveilige situaties en tot ongevallen. Een menselijke fout of vergissing is nooit helemaal uit te sluiten. Echter het toepassen van technieken die bewustwording, alertheid en gedrag beïnvloeden en/of werkmethodes die misverstanden en onduidelijkheid voorkomen, kan de kans op een menselijke fout verminderen of de gevolgen ervan beperken.

Dit VR-hoofdstuk beschrijft het programma waarmee de menselijke factor in de diverse bedrijfsprocessen met betrekking tot de KCB wordt beheerst.

Er zijn diverse bedrijfsprocessen (zie paragraaf 3.3) waar de mens van invloed kan zijn op de gewenste resultaten. De processen waar de menselijke invloed substantieel is, zijn, meer generiek gesteld:

- 1) het analyseren van risico's;
- 2) het voorbereiden van werkzaamheden;
- 3) de inzet van personeel;
- 4) het overdragen van informatie;
- 5) het geven van instructies;
- 6) het uitvoeren van werkzaamheden;
- 7) het houden van toezicht;
- 8) het opstellen, beoordelen en reviewen van documenten;
- 9) het bedienen van de installatie;
- 10) het (wijzigen van het) ontwerp van de installatie;
- 11) het beheersen van calamiteiten;
- 12) het analyseren van ongewenste gebeurtenissen;
- 13) de evaluatie van alle voornoemde processen;
- 14) het vaststellen van preventieve maatregelen.

Daarbij spelen onder andere de volgende menselijke eigenschappen een rol:

- kennis, vaardigheden en aanleg;
- persoonlijke overtuigingen (te denken valt aan plichtsgetrouwheid, zorgvuldigheid of vertrouwen (bijvoorbeeld in beschikbare informatie));
- lichamelijke gesteldheid;
- geestelijke gesteldheid (te denken valt aan alertheid, concentratievermogen, stress en angst).

Ook arbeidsomstandigheden zoals temperatuur en luchtvochtigheid, werkbelasting, werkdruk, werktijden en rooster spelen een rol. Het geheel resulteert in gedrag.

In het bereiken en bestendigen van het gewenste gedrag binnen de bedrijfsprocessen, is met voornoemde aspecten en met de actuele stand der wetenschap rekening gehouden.

Hieronder volgen op hoofdlijnen de toegepaste aanpak en gebruikte technieken per meer generiek gesteld bedrijfsproces (tussen haakjes is het beheersende (Hoofd)proces vermeld) waarmee EPZ de werkomstandigheden zo goed als enigszins mogelijk is, tracht te beheersen.

Ad 1; Het analyseren van risico's

Binnen de volgende bedrijfsprocessen worden risico's geïnventariseerd:

- risico inventarisatie en evaluatie (Hoofdproces ARBO);

- inventarisatie milieu-effecten (Hoofdproces Milieu);
- bedrijfsbrede risico-analyse op basis van de EPZ-Risicomatrix;
- voorbereiding van werkzaamheden (Hoofdproces Onderhoud). Zie verder Ad 4.
- de probabilistische veiligheidsanalyse (Engels: Probabilistic Safety Assessment) (Hoofdproces Configuratiebeheer).

In alle gevallen is de menselijke invloed een expliciet beoordeeld aspect waarmee in de daaropvolgende beheersmaatregelen rekening wordt gehouden.

De procedures voor de bedieningshandelingen vormen de basis voor de evaluatie van het menselijk handelen in de PSA. Voor scenario's in de PSA is gekeken welke bedieningshandelingen de afloop van een gebeurtenis kunnen beïnvloeden. In deze analyse zijn de belangrijkste parameters: de tijd beschikbaar, de tijd nodig, de helderheid en mate van training van de procedures en de ergonomische uitgangspunten.

Bevindingen uit de PSA worden teruggekoppeld naar de procedures. Bij het opstellen van de Noodbedieningsprocedure voor niet-vermogensbedrijf heeft veel interactie plaatsgevonden met de aanpassingen van de PSA ten gevolge van de IPSART missie van 2010. De Strategiebeschrijving PSA is het startdocument voor de toepassing van PSA.

Ad 2; Het voorbereiden van werkzaamheden

Dagelijks worden vele werkzaamheden voorbereid. Ze zijn van zeer uiteenlopende aard: het nemen van monsters van procesmedia, de analyses ervan, splijtstofhandelingen, behandeling van radio-actief afval, onderhoud, testen en beproeven van componenten, wijzigen van de installatie en het uitvoeren van stralingscontroles. Bij deze werkvoorbereiding wordt een risico-inschatting (Ad 1) gemaakt op basis waarvan zo nodig aanvullende preventieve maatregelen worden genomen. Het resultaat is een werkmap met de voor uitvoering van de werkzaamheid noodzakelijke informatie. De informatie wordt overgedragen van werkvoorbereider op uitvoerende (zie verder Ad 4).

Ad 3; Werving, selectie en inzet van personeel

Voor elke functie bij EPZ zijn competentie-eisen bepaald. Dit betreft eisen aan schoolse kennis en vaardigheden maar ook zogenaamde soft-skills, zoals analyseren, stressbestendigheid of communiceren. Deze competentie-eisen worden primair gehanteerd bij de werving en selectie van personeel en de (her)opleiding en de (her)kwalificatie van personeel, beheerst via het Hoofdproces Personeelsmanagement.

Bij de (her)inrichting van processen wordt het minimale kwalificatieniveau bepaald waaraan het in te zetten personeel moet voldoen. Bij de inzet van tijdelijk personeel worden de competentie-eisen aangehouden zoals die gelden voor gelijkwaardige functies van vast personeel.

In sommige gevallen, bijvoorbeeld bij de kwalificatie van regelzaalpersoneel, wordt een formeel examen afgenomen in het bijzijn van een gecommiteerde van de toezichhoudende overheid.

Ad 4; Het overdragen van informatie

Informatieoverdracht vindt binnen alle processen plaats. De organisatie is doordrongen van het belang van eenduidigheid van informatie.

Een effectieve overdracht van informatie (inclusief het leren overdragen) is bij uitstek het doel van het proces Opleiden en Ontwikkelen, onderdeel van het Hoofdproces Personeelsmanagement. Het selecteren van de didactisch meest geschikte methodes is onderdeel van dit proces.

Bij het opleiden worden diverse zogenaamde Human Performance technieken aangeleerd (zie paragraaf 9.7). Zo worden bijvoorbeeld tijdens (simulator)trainingen 3-weg-communicatie, vragen of geven van Feed-Back en het gebruik van het NATO-spellingsalfabet aangeleerd.

De HP-technieken zijn ook op schrift ter beschikking gesteld van het personeel, bijvoorbeeld in de vorm van ARBO-instructies.

Ad 5; Het geven van instructies

Het geven van instructies vindt binnen diverse processen plaats. Voor wat betreft schriftelijke instructies, zie Ad 8.

Bij mondelinge instructies, vooral aan de orde bij het bedienen van de KCB (Hoofdproces Bedrijfsvoering) wordt bijvoorbeeld het NATO-spellingsalfabet en 3-weg-communicatie gebruikt.

Ad 6; Het uitvoeren van werkzaamheden

Bij de uitvoering van werkzaamheden worden diverse, in de nucleaire wereld gebruikelijke controle-instrumenten gebruikt.

Procedureel wordt bijvoorbeeld voorafgaand aan bepaalde werkzaamheden aan of in de installatie, opgeroepen tot een Last-Minute-Risc-Analysis (LMRA). Dit instrument is bedoeld om vlak voor aanvang van werkzaamheden te beoordelen of de werkelijke werkpleksituatie overeenkomt met de bij de werkvoorbereiding veronderstelde situatie. Bij afwijkingen behoren dan zo nodig aanvullende veiligheidsmaatregelen te worden genomen.

Verder wordt het personeel regelmatig, bijvoorbeeld tijdens werkoverleg, kick-off-meetings en (opfris)cursussen, aangemoedigd een vragende houding ('Questioning attitude') aan te nemen, het 'STAR-principe' (Stop-Think-Act-Review, ofwel: bij twijfel stoppen) toe te passen en behoudend te beslissen ('Conservative Decisionmaking' ofwel: onzekerheden bepalen en deze compenseren met veiligheidsmarges).

Ad 7; Het houden van toezicht

Het houden van toezicht wordt getraind. Dit vanuit de wetenschap dat de wijze waarop op de werkplek managementverwachtingen worden geuit of aangesproken wordt op ongewenst gedrag, de effectiviteit ervan ten aanzien van het te bereiken gedrag, bepaalt.

Trainingen op dit vlak worden geïnitieerd vanuit het Hoofdproces Personeelsmanagement.

Ad 8; Het opstellen, beoordelen en reviewen van documenten

Voor vele werkzaamheden voor elke mogelijke bedrijfstoestand zijn procedures en/of instructies beschikbaar. Bij het initieel opstellen en bij het periodiek review ervan wordt naast de overeenkomstigheid met regelgeving ook standaard beoordeeld of de betreffende taken praktisch zijn uit te voeren en of daarbij voor de uitvoerende niet onnodig of niet een te groot risico wordt gelopen. Ook eenduidigheid en begrijpelijkheid zijn reviewaspecten. Ze zijn naast andere reviewaspecten opgenomen in instructies binnen het proces Inrichten, beheren en verbeteren van het Managementsysteem.

Anderzijds zijn er analyse- en evaluatierapporten beschikbaar waarop beslissingen, bijvoorbeeld het wijzigen van de installatie, worden gebaseerd. De inhoudelijke juistheid is dus zeer van belang. Met het selecteren van geschikte en diverse reviewpartijen en het specificeren van de reviewopdracht, wordt dit nagestreefd.

Ad 9; Het bedienen van de installatie

Het ergonomisch aspect van het KCB-ontwerp is erop gericht om fouten die door het personeel van de centrale bij het opnemen van informatie en bij het uitvoeren van handelingen gemaakt zouden kunnen worden, tot een minimum te beperken.

Bij de inrichting van de regelzaal is rekening gehouden met de belangrijkste informatiebehoeften van het regelzaalpersoneel tijdens normaal bedrijf en tijdens storingen. Naar gelang het veiligheidsbelang van bepaalde procesinformatie is deze duidelijker zichtbaar. Zo wordt bijvoorbeeld de status van de zes kritische veiligheidsfuncties:

- onderkritikaliteit;
- kernkoeling;
- secundaire warmteafvoer;
- reactorvatintegriteit;
- insluitsysteem;
- inventaris;

met kleurcodering op het grote IPSO (Integrated Plant Status Overview) -scherm getoond en is de beschikbaarheid van de veiligheidssystemen snel en gemakkelijk te overzien via het Reactorbeveiligingspaneel (YZ-paneel).

De installatie en het technisch verloop van het proces wordt vanuit de regelzaal bewaakt en bestuurd. Van hieruit wordt ook de communicatie tussen het personeel in de centrale en de buitenwereld tot stand gebracht.

Als de regelzaal niet beschikbaar is, kan de installatie vanaf de reserveregelzaal in een veilige toestand gebracht en gehouden worden. De informatievoorziening in de reserveregelzaal (zie ook hoofdstuk 6) is gericht op deze doelstelling. Ook bij de lokale bedieningspanelen is hier rekening mee gehouden.

Ten aanzien van werkzaamheden en lokale bedieningshandelingen is rekening gehouden met de toegankelijkheid en de werkomstandigheden. Lokale taakuitoefening in voor de mens zwaar belastende omstandigheden zijn zoveel mogelijk vermeden en indien mogelijk door mechanisatie en zo nodig met afstandsbediening gerealiseerd.

Systemen en componenten in de installatie zijn duidelijk geïdentificeerd volgens het AKS (Anlagen Kennzeichnungs System). Door in de communicatie deze AKS-codering te gebruiken, worden misverstanden voorkomen.

Een nadere toelichting met betrekking tot ergonomische aspecten in het ontwerp is te vinden in paragraaf 5.8.

Ad 10; Het (wijzigen van het) ontwerp van de installatie

In de voorbereiding van ontwerpwijzigingen aan de installatie wordt rekening gehouden met ergonomische aspecten en wordt voorkomen dat bestaande ergonomische principes worden verstoord. Hiertoe is bijvoorbeeld sinds 1996 een Human Machine Interaction (HMI)-werkgroep in functie die dit aspect van de wijziging beoordeelt.

Ad 11; Het beheersen van calamiteiten

Binnen het Alarmplan wordt op basis van de in het Veiligheidsrapport gepostuleerde (buiten-(ontwerp))ongevallen bepaald hoe de organisatie van de KCB zich daarop voorbereidt (zie hoofdstuk 12). De oefeningen zijn zodanig dat alarmplanfunctionarissen zich kunnen inleven in stressvolle situaties met soms achterblijvende informatie. De bij de calamiteiten te gebruiken instructies zoals FHP's en SAMG's, zijn qua structuur en opzet gebaseerd op een wereldwijd beproefd concept (Westinghouse) waarbij vooral eenduidigheid van instructies de aandacht krijgen. Vervolgens worden deze instructies in het gebruik (bij oefeningen) verder geoptimaliseerd.

Ad 12: Het analyseren van ongewenste gebeurtenissen

Storingen en overige ongewenste gebeurtenis worden geanalyseerd door de Storingswerkgroep (SWG). De achterliggende oorzaak en vooral de menselijke invloed daarbij wordt expliciet beoordeeld. Hiervoor is het Human Performance Enhancement System (HPES, ontwikkeld door de WANO) gehanteerd.

Door diverse internationale instituten (zoals WANO en IAEA) worden ervaringen, opgedaan in de (nucleaire) industrie, vergaard, met de bedoeling deze te delen met haar leden kernenergiecentrales. De menselijke factor heeft hier een bovengemiddelde aandacht. In paragraaf 9.8, Programma voor Terugkoppeling Bedrijfservaring, wordt dit proces uiteengezet.

Ad 13; De evaluatie van processen

Jaarlijks wordt elk proces met enige veiligheidsrelevantie beoordeeld op effectiviteit onder andere vanuit de gedachte van continu verbeteren (Deming-circle). Twee-jaarlijks wordt dit uitgebreid met een conformiteitscheck met de van toepassing zijnde regelgeving en tien-jaarlijks wordt dit ook gedaan met overige relevante regelgeving en met de actuele stand van de techniek. In alle gevallen worden dwarsverbanden beoordeeld zoals de veiligheidscultuur en de menselijke factor. In paragraaf 3.1 wordt dit proces uitgebreid beschreven.

Ad 14: Het vaststellen van preventieve maatregelen

Uit storingsanalyse (zie Ad 12), managementevaluaties (zie Ad 13), interne audits en inspecties en peerreviews komen preventieve maatregelen voort. Hierbij speelt vanzelfsprekend, vanuit het oogpunt van effectiviteit, vooral gedragswetenschappelijke kennis mee. Zo wordt bijvoorbeeld met enige regelmaat aanbevolen de ergonomie van instructies te verbeteren (Ad 8) of het kennisniveau van personeel op een specifiek onderdeel te verhogen.

Bij alle activiteiten geldt dat de bedrijfsleiding het personeel aanmoedigt vooral zorgvuldig en niet gehaast te werken en dat toegezien wordt op de naleving van de wettelijk voorgeschreven werk- en rusttijden.

9.8 PROGRAMMA VOOR TERUGKOPPELING BEDRIJFSERVARINGEN

De wijze waarop EPZ-KCB leert van interne en externe ervaringen loopt via diverse trajecten. De belangrijkste zijn:

- storingen en andere belangrijke ongewenste gebeurtenissen, ongeacht binnen of ten gevolge van welk bedrijfsproces deze zijn voorgevallen, worden geregistreerd en geanalyseerd. Periodiek wordt een trendanalyse uitgevoerd. Criteria volgens welke het belang van een gebeurtenis wordt bepaald en dus met welke diepgang wordt geanalyseerd (van plausibele-oorzaak-inschatting tot Rootcause-analyse) zijn procedureel vastgelegd.
Bij de analyse krijgt de Menselijke Factor (zie ook paragraaf 9.7) en daarmee de veiligheidscultuur (zie paragraaf 3.2) een meer dan gemiddelde aandacht. Zo wordt onder andere de geschiktheid van documentatie en de mate waarin kennis en vaardigheid aanwezig is, beoordeeld. De internationaal erkende HPES-methodiek (Human Performance Enhancement System, afkomstig van de WANO) wordt hierbij gebruikt;
- overige ongewenste gebeurtenissen (internationaal aangeduid als *Low-Level-Events* waartoe ook *bijna-incidenten* worden gerekend) worden geregistreerd. Escalatie van dit soort meldingen tot een belangrijke gebeurtenis (zie hierboven) is voorzien. Periodiek wordt een trendanalyse uitgevoerd;
- ongewenste gebeurtenissen voorgevallen bij andere kernenergiecentrales of in gelijksoortige industrieën, aangeleverd door onder andere de WANO, het IAEA, de VGB of fabrikanten, worden beoordeeld op relevantie voor de KCB;
- congressen en seminars met betrekking tot aspecten van bedrijfsvoering met kernenergiecentrales worden bijgewoond en aan internationale vakgroepen inzake wordt deelgenomen. Tot dit traject behoort ook het onderhouden van contacten met de oorspronkelijke leveranciers;

Voor alle trajecten geldt dat er waar nodig correctieve en/of preventieve maatregelen worden genomen.

Bedrijfservaringen worden via diverse communicatievormen zoals het EPZ-intranet ter beschikking gesteld aan de organisatie. Gebruik ervan wordt aangemoedigd.

De effectiviteit van de EPZ-KCB-organisatie wordt evenals andere bedrijfsaspecten jaarlijks geëvalueerd. De analyse van trends in voorgevallen incidenten en herhalingen van eerder voorgevallen incidenten is input voor de beoordeling van de effectiviteit c.q. de geschiktheid van het proces. Tienjaarlijks wordt het KCB-ontwerp getoetst tegen onder andere de dan beschikbare technieken en ontwerpconcepten.

Met de overheid zijn criteria vastgesteld, opgenomen in de Technische Specificaties, volgens welke bepaald wordt of een gebeurtenis aan de overheid gemeld moet worden.

Voor alle trajecten zijn geïmplementeerde procedures beschikbaar welke zijn gebaseerd op de van toepassing gestelde NVR.

De prestaties van elk proces wordt met indicatoren bewaakt. Minimaal jaarlijks worden de processen geëvalueerd en worden de resultaten onder de aandacht gebracht van de bedrijfsleiding. Zo nodig worden verbetermaatregelen geïnitieerd.

9.9 DOCUMENTBEHEER

De documentstructuur en –hiërarchie wordt in algemene zin bepaald in het Integraal ManagementSysteem dat in paragraaf 3.3, Kwaliteitsmanagement, wordt behandeld. Meer in detail en met een focus op configuratiebeheer wordt het beheerst via Hoofdproces Configuratiebeheer.

Het geheel van documentatie met betrekking tot de KCB is als volgt in te delen:

- de groep van beleidsbepalende, inrichtende en instruerende documenten die met name de kwaliteit van werken beheersen; AVS-documenten genaamd (AVS= Algemeen Voorschriften Systeem), zie paragraaf 3.3. Het zijn documenten uit deze groep waarnaar in het voorliggende Veiligheidsrapport globaal en in het overeenkomstige deel van het TIP meer gespecificeerd wordt verwezen als het beheersing van zaken betreft. de groep documenten die de totstandkoming van de KCB tot en met de as built toestand van de installatie beschrijft, aantoont of onderbouwt; Configuratie-documenten genaamd. Het betreft zowel fysieke als elektronische documenten (databases). Een belangrijk element van laatstgenoemde is het Bedrijfsmiddelen Registratiesysteem (BRS) met gegevens (o.a. codering) en specificaties van alle componenten (bedrijfsmiddelen) van de KCB; Het zijn documenten uit deze groep waarnaar in het voorliggende Veiligheidsrapport globaal en in het overeenkomstige deel van het TIP meer gespecificeerd wordt verwezen als het technische zaken betreft. de groep van moederbestanden met KCB-installatiegebonden software;
- alle operationele gegevens die verzameld worden tijdens de levensduur van de centrale. Dit zijn kwaliteitsregistraties (Engels: Records). Onder andere betreft deze groep, gegevens met betrekking tot:
 - o slijtstofmanagement;
 - o uitgevoerd onderhoud, surveillance en inspecties;
 - o inbedrijfsstellers- / herkwalificatie-documenten;
 - o analyse- en evaluatierapporten;
 - o geproduceerd radio-actief afval;
 - o activiteitswaardes en besmettingsniveaus van alle belangrijke installatiedelen, onder ander van belang in relatie tot de definitieve buitenbedrijfstelling en ontmanteling. Zie ook hoofdstuk 15.

Bij de KCB wordt gewerkt met het begrip Documentsoort. Een zogenaamde Opstelprocedure beheerst de kwaliteit van de desbetreffende documentsoort.

De volgende beheersaspecten zijn te onderscheiden:

- totstandkoming; de workflow (van opsteller tot autorisator) van de documentsoort is voorgeschreven. Elke documentsoort heeft een documentsoortverantwoordelijke. Deze is aangewezen om de documenten behorende tot de soort, tijdig (eventueel periodiek) te laten reviewen en te laten autoriseren. Een uitgebreide set van instructies met betrekking tot documentbeheer zijn beschikbaar;
- implementatie; de documentsoortverantwoordelijke draagt zorg voor de implementatie van de beschreven werkwijzen;
- ontvangst; extern opgestelde documenten worden afhankelijk van hun belang intern gecontroleerd en geautoriseerd. Documenten die overeenkomen met een intern gehanteerde documentsoort worden gelijkwaardig behandeld;
- identificatie; elk document krijgt een uniek identificatienummer;
- distributie; op beperkte schaal worden documenten fysiek gedistribueerd. In ieder geval staan fysieke documenten op plaatsen waar beschikbaarheid zeker moet zijn gesteld zoals op regelzalen en alarmcentra;
- terugvindbaarheid; elk document is uniek geïdentificeerd en gedigitaliseerd en als zodanig terugvindbaar beschikbaar gesteld aan de organisatie, bij fysieke opslag is een opslaglocatie bekend;

Digitale opslag vindt plaats in het Documentbeheerssysteem. Dit systeem kent naast het eerdergenoemde AVS onder andere ook de onderdelen "Archief", "Tekeningen" en "Correspondentiearchief";

- actualisatie; afhankelijk van het belang van een documentsoort en de mate van intensiteit van gebruik wordt een periodiek review en een passende frequentie voorgeschreven;
- opslag; per documentsoort is de soort informatiedrager en de bewaartermijn bepaald. Archieven worden gemonitord op degradatieverschijnselen;
- vernietiging.

De mate van beheersing van een documentsoort, bijvoorbeeld de intensiteit van controles en de hiërarchische positie van controleur en autorisator wordt voornamelijk bepaald door de veiligheidsrelevantie.

Documentbeheer KCB is overeenstemming met de NVR's.

9.10 SPLIJTSTOFWISSELSTOP

Het gekozen kernontwerp (zie paragraaf 9.3) van de KCB bepaalt dat de splijtstofcyclus ongeveer een jaar duurt. Daarnaast zijn er eisen aan inspectie-, test-, en onderhoudsintervallen van de installatie die mede bepalen dat de installatie regelmatig uit bedrijf moet worden genomen. Deze cycli worden optimaal op elkaar afgestemd. Niet altijd hoeft daarvoor de kerninhoud volledig te worden ontladen. Een Splijtstofwisselstop (kortweg: SW) waarbij de splijtstofelementen in het reactorvat één voor één worden uitgewisseld, wordt Reshufflestop genoemd. Op stops waaronder SW's, zijn de NVR's van toepassing.

Op basis van de wederkerende Instandhoudingsprogramma's (zie paragraaf 9.2) en grotere wijzigingsprojecten wordt de omvang van de komende SW's bepaald en start de planning en de werkvoorbereiding. Cruciaal in de SW-planning is de op de Technische Specificaties gebaseerde noodzakelijke beschikbaarheid van de diverse veiligheidssystemen, de zogenaamde Redundantieplanning. Op de inhoudelijke juistheid en het aanhouden ervan wordt intensief gecontroleerd.

Tijdens de SW wordt een veelheid aan activiteiten uitgevoerd. Soms komt het voor dat meerdere activiteiten tegelijkertijd door meerdere partijen op dezelfde locatie of aan het zelfde systeem moeten plaatsvinden. Om zeker te stellen dat dit veilig gebeurt, zijn er diverse procedures voorgeschreven en systemen in gebruik. Hierna worden de belangrijkste beschreven.

Tijdens de werkvoorbereiding wordt een risicoanalyse gemaakt van de werkzaamheden en hun specifieke omstandigheden; deze analyse leidt tot risicobeperkende maatregelen. Een bijzonder risico is het oplopen van straling. Werkzaamheden worden op dat aspect vooraf beoordeeld door de Stralingsbeschermingseenheid. Zij adviseren de uitvoerenden en zien toe op het naleven van de voorgeschreven stralingsbeschermingsmaatregelen. Bij grotere projecten wordt vooraf een dosisschatting gemaakt vastgelegd in een zogenaamd Dosisschattings- of Alarapport (zie hiervoor paragraaf 11.1).

Tijdens de voorbereiding wordt bepaald hoe het ontstaan van radioactief afval kan worden voorkomen of beperkt en hoe eventueel ontstaan afval wordt afgevoerd. Instructies hieromtrent worden toegevoegd aan de werkmap (zie hiervoor hoofdstuk 14).

Voorafgaand aan het vrijgeven voor werkzaamheden wordt het betreffende component of systeem elektrotechnisch en procestechnisch vrijgeschakeld. Dit wordt zodanig administratief ondersteund dat dit de veiligheid niet ondermijnt en dat het component niet eerder functioneel wordt verklaard dan nadat alle werkzaamheden volledig zijn afgerond.

Het personeel krijgt via training en opleiding diverse Human Performance technieken aangereikt die ongewenste situaties moeten helpen voorkomen of de gevolgen beperken. Zie hiervoor paragraaf 9.7, Menselijke Factoren en paragraaf 9.6, Kwalificatie en Training van Personeel.

Tijdens de SW wordt extra personeel ingehuurd. Via de inkooporder worden onder andere personeelskwalificatie-eisen gesteld. Deze zijn afgeleid van de kwalificatie-eisen zoals deze binnen het Hoofdproces Personeelsmanagement, toegelicht in paragraaf 9.6, tot stand zijn gekomen. Voordat de tijdelijke kracht te werk wordt gesteld, wordt gecontroleerd of hij/zij gekwalificeerd is voor het aan hem/haar op te dragen werk. Daarnaast krijgt elke tijdelijke kracht een interne opleiding die ervoor zorgt dat hij/zij de weg in de installatie weet te vinden en van de relevante KCB-regels op de hoogte is. Controle op de kwalificaties van tijdelijk personeel is onderdeel van het deelproces Planning en Werkvoorbereiding binnen het Hoofdproces Onderhoud. De opleiding en instructie van (tijdelijk) personeel wordt beheerst binnen Hoofdproces Personeelsmanagement.

De bedrijfsleiding van EPZ-KCB is zich bewust van de menselijke eigenschap bij individuen om gehaast te werken. Om dit te voorkomen wordt de planning voldoende ruim opgezet. Daarnaast wordt personeel door middel van publiciteitscampagnes bewust gemaakt van dit ongewenste gedrag; onder andere onder het motto: "Haast leg je je zelf op".

Er is een systeem van controle- en observatierondes in werking, gebaseerd op veiligheidsrisico's van de diverse tijdens de SW uitgevoerde activiteiten.

Tijdens de SW is er dagelijks overleg waarin bijzonderheden worden gemeld en besproken en aanvullende acties worden afgestemd. Eventuele onverwachte gebeurtenissen met betrekking tot de installatie of organisatie worden met de gepaste urgentie behandeld. Zo nodig vindt escalatie plaats naar een hoger echelon, bijvoorbeeld naar de RBVC, beschreven in paragraaf 3.1, Organisatie van Veiligheidsprocessen.

Van alle medewerkers wordt verlangd dat zij ongewenste gebeurtenissen melden. Deze leiden zo nodig tot nadere analyse en/of actie. In paragraaf 9.8, Programma voor terugkoppeling bedrijfservaringen, wordt dit beschreven.

Tegen het einde van ieder SW worden naast andere controles de zogenaamde Veiligheids Technische Handelingen (VTH's) uitgevoerd. Deze verifiëren systematisch de aanwezigheid en beschikbaarheid van alle noodzakelijk componenten en systemen.

De overheid houdt toezicht tijdens de SW. Zij laat zich over alle relevante zaken informeren, onder andere over de afwijkingen die bij het onderhoud, surveillance of inspecties zijn bevonden en/of die een beletsel zijn om met de centrale weer veilig bedrijf te voeren. Als de overheid overtuigd is dat aan alle voorwaarden is voldaan, wordt een "geen bezwaar" afgegeven voor opstart.

Elke SW maar ook elke ongeplande stop wordt geëvalueerd met de bedoeling ervan te leren en toekomstige stops nog beter te laten verlopen.

INHOUDSOPGAVE

10. TECHNISCHE SPECIFICATIES	10-2
10.1 ALGEMEEN	10-2
10.2 INDELING VAN DE TECHNISCHE SPECIFICATIES	10-3

10. TECHNISCHE SPECIFICATIES

10.1 ALGEMEEN

In het onderhavige veiligheidsrapport is een beschrijving gegeven van de aspecten van de kernenergiecentrale, die van belang zijn voor de veilige werking daarvan. In de hoofdstukken 5 en 6 is een beschrijving gegeven van de installatie zelf, waaronder de omvang en uitvoering van de veiligheidssystemen. Daarvan uitgaande is in hoofdstuk 7 aangegeven wat de gevolgen zijn van denkbare storingen en ongevallen. Bij de analyses daarvan is er, ondanks de opgestelde redundantie, niet altijd van uitgegaan dat alle aanwezige systemen of componenten ook beschikbaar zijn. Immers het niet beschikbaar zijn van een systeem of component, zowel gepland als ongepland, kan een toename van het risico met zich meebrengen. De duur van een dergelijke niet-beschikbaarheid, bijvoorbeeld ten gevolge van vervanging, reparatie of onderhoud, dient dan gelimiteerd te worden, zodat het eventuele risico binnen bepaalde grenzen blijft. Voorwaarde voor het veilig bedrijven van de kernenergiecentrale is dan ook dat de voor de storings- en ongevalsanalyse veronderstelde redundantie(s) aanwezig is (zijn). Indien dat gedurende zekere tijd niet het geval is, dienen de tijd en de maatregelen die dan genomen moeten worden vooraf gespecificeerd te worden.

De eis tot het hebben van een beschrijving van deze en andere voorwaarden is ook vastgelegd in de vergunning van de kernenergiecentrale Borssele. Deze beschrijving is opgenomen in de zogenaamde Technische Specificaties, de set van voorwaarden en grenswaarden voor het veilig bedrijven van de centrale. De Technische Specificaties dienen gecontroleerd en goedgekeurd te zijn door het bevoegd gezag.

De vergunninghouder is verplicht alles te doen wat redelijkerwijs mogelijk is om afwijkingen van de voorwaarden en de limieten zoals beschreven in de Technische Specificaties te voorkomen.

10.2 INDELING VAN DE TECHNISCHE SPECIFICATIES

De Technische Specificaties voor de Kernenergiecentrale Borssele voldoen aan de betreffende Nederlandse normen zoals vastgelegd in de NVR.NS-G-2.2 “Bedrijfslijmielen en –voorwaarden en bedrijfsvoeringsprocedures voor kernenergiecentrales”. De Technische Specificaties zijn opgesteld met als richtlijn de daarvoor geldende Amerikaanse normen zoals deze zijn vastgelegd in NUREG 1431 van de U.S. Nuclear Regulatory Commission. Hierin is een standaard indeling en inhoud van de Technische Specificaties voor een kernenergiecentrale vastgelegd. De indeling met de aan te spreken onderwerpen ziet er als volgt uit:

- 1 Gebruik en toepassing;
- 2 Veiligheidsgrenzen;
- 3 Voorwaarden voor het bedrijf;
 - 3.1 Systemen ter beheersing van de reactiviteit;
 - 3.2 Grenzen van de vermogensverdeling;
 - 3.3 Instrumentatie;
 - 3.4 Reactorkoel- en drukkoudsysteem;
 - 3.5 Noodkoelsysteem;
 - 3.6 Containmentsystemen;
 - 3.7 Bedrijfssystemen;
 - 3.8 Elektrische installatie;
 - 3.9 Splijtstofwisseling;
- 4 Ontwerp;
- 5 Bestuurs- en beheerssystemen.

INHOUDSOPGAVE

11. STRALINGSBESCHERMING	11-2
11.1 STRALINGSBESCHERMINGSPROGRAMMA	11-2
11.2 BRONNEN VAN IONISERENDE STRALING	11-4
11.2.1 Radioactieve bronnen	11-4
11.2.2 “Hete” laboratorium	11-5
11.3 ONTWERPASPECTEN TEN AANZIEN VAN DE STRALINGSBESCHERMING	11-6
11.3.1 Ontwerpbasis	11-6
11.3.2 Afscherming	11-6
11.3.3 Ventilatie	11-8
11.3.4 Instrumentatie ten behoeve van de stralingsbescherming	11-8
11.3.5 Zonering	11-9

11. STRALINGSBESCHERMING

Dit hoofdstuk behandelt de stralingsbescherming binnen en buiten de centrale. In de eerste paragraaf wordt het Stralingsbeschermingsprogramma behandeld. De tweede paragraaf behandelt de stralingsbronnen die in de installatie aanwezig zijn en de derde paragraaf de ontwerpaspecten ten aanzien van de stralingsbescherming. De nucleaire dosisconsequenties voor de omgeving worden behandeld in paragraaf 13.1, Nucleaire Milieuaspecten.

11.1 STRALINGSBESCHERMINGSPROGRAMMA

De stralingsbescherming bij de KCB is gebaseerd op de Nederlandse wetgeving die mede gebaseerd is op de aanbevelingen van de ICRP (International Commission on Radiological Protection) en de Europese basisnormen. Hierbij gelden de volgende uitgangspunten:

- een activiteit die een zekere stralingsbelasting tot gevolg heeft is alleen gerechtvaardigd als het nut van deze activiteit opweegt tegen het risico dat verbonden is aan deze stralingsbelasting (rechtvaardiging);
- alle stralingsdoses dienen zo laag als redelijkerwijs mogelijk te worden gehouden, rekening houdend met zowel sociale als economische overwegingen (optimalisatie, ALARA-principe: As Low As Reasonably Achievable);
- de ontvangen stralingsdoses mogen de geldende wettelijke limieten niet overschrijden (limitering).

Bovenstaande uitgangspunten vormen dus ook de basis voor het Stralingsbeschermingsprogramma KCB, het geheel van procedures en instructies en meet- en analyseprogramma's waarmee de stralingsbescherming wordt beheerst. Zo dient onder andere bij een wijziging aan of onderhoud van de installatie waarbij een significante stralingsbelasting op zal treden, de te investeren dosis beargumenteerd te worden (rechtvaardiging). Deze argumentatie heeft tevens tot doel een optimale keuze te kunnen maken uit de mogelijke technische alternatieven voor de voorgenomen wijziging of bij het voorgenomen onderhoud (optimalisatie). Voor kleinere werkzaamheden wordt vooraf een schatting gemaakt van de stralingsdosis aan de hand waarvan vastgesteld wordt hoelang de werkzaamheden mogen duren en of bepaalde voorzieningen getroffen moeten worden. Bij het ontwerp van de centrale is eveneens rekening gehouden met minimalisering van de stralingsbelasting. Hiertoe zijn nucleaire en conventionele installaties zoveel mogelijk gescheiden gehouden, is voor afscherming gezorgd en wordt voldoende geventileerd (zie paragraaf 11.3). Verder worden daar waar nodig de installaties, de ruimten, het personeel en de omgeving voortdurend gecontroleerd op aanwezige ioniserende straling.

Dosis van het personeel

De controle van het personeel op de opgelopen stralingsdosis en eventuele besmetting wordt gedaan met behulp van het personenstralingsmeetsysteem (XR).

Dit systeem bestaat uit vijf delen:

- ambtelijke dosimeters en bedrijfsdosimeters die binnen het gecontroleerd gebied en in het afvalopslaggebouw (afhankelijk van het heersende dosistempo) op het lichaam gedragen moeten worden. Op deze manier wordt de dosis die een persoon heeft opgelopen gecontroleerd en geregistreerd;
- personenmonitoren die opgesteld staan bij de hoofdtoegangscontrole van het gecontroleerd gebied. Hiermee worden alle personen die het gecontroleerd gebied verlaten gecontroleerd op een eventuele radioactieve besmetting (uitwendig en/of inwendig);
- draagbare besmettingsmonitoren waarmee een eventuele uitwendige besmetting vastgesteld kan worden. Deze instrumenten worden ook in de EHBO-post gebruikt voor het vaststellen van eventuele besmetting van wonden;

- totale gammameting van de borst. Deze wordt jaarlijks bij het vaste personeel en bij binnenkomst en vertrek van tijdelijk personeel uitgevoerd. Indien nodig bestaat de mogelijkheid een nuclide-specifieke totale lichaamstelling (tlt) uit te voeren.
- Verder wordt in de bewakingsloge eenieder die het centrale terrein betreedt of verlaat door middel van personenmonitoren op besmetting gecontroleerd. Hierdoor wordt een eventuele besmetting zo vlug mogelijk ontdekt en wordt een ongecontroleerde verspreiding van radioactiviteit vermeden.

Voor het personeel dat binnen het gecontroleerd gebied bepaalde werkzaamheden moet uitvoeren gelden speciale gedragsregels en voorschriften. Uitvoering hiervan voorkomt of beperkt de stralingsbelasting of besmetting van het personeel. Indien een besmetting wordt geconstateerd zijn er voorzieningen aanwezig waarmee de besmetting zo goed mogelijk verwijderd kan worden. Hierbij wordt gewerkt volgens voorgeschreven procedures. Door de weloverwogen inzet van het personeel en de uitgevoerde controles is het mogelijk gebleken de stralingsbelasting van het personeel ruim onder de wettelijk voorgeschreven normen te houden.

11.2 BRONNEN VAN IONISERENDE STRALING

De belangrijkste bron van ioniserende straling wordt gevormd door de reactorkern (zie paragraaf 14.1). Deze zendt, voor zover van belang voor de stralingsbescherming, voornamelijk snelle neutronen en gammastraling uit. De neutronen komen vrij bij de splijting van uranium- of plutoniumkernen. De gammastraling is afkomstig van de door splijting gevormde vervalproducten en ontstaat daarnaast als gevolg van het invangen van neutronen in de reactorkern, het water en de afschermingsmaterialen.

Verder zijn de volgende bronnen van ioniserende straling van belang:

- het beton rond het reactorvat; de activering hiervan kan bij een afgeschakelde reactor een grote bijdrage leveren aan het ter plaatse heersende stralingsniveau;
- het hoofdkoelmiddel, met name het stikstofisotoop N-16 hierin, levert tijdens bedrijf de belangrijkste bijdrage aan de uitgezonden straling. Na afschakeling van de reactor vervalt dit nuclide snel waarna de overige in het primair systeem aanwezige radioactiviteit van belang is. Het hoofdkoelmiddel veroorzaakt tevens radioactiviteit in de verschillende andere nucleaire systemen waardoor deze ook als stralingsbron beschouwd moeten worden;
- de lucht in het reactorgebouw en het reactorhulpgebouw; deze kan radioactiviteit bevatten waardoor enige stralingsbelasting wordt veroorzaakt;
- de splijtstofelementen die in het splijtstofopslagbassin zijn opgeslagen en dan vooral de gebruikte elementen die kortgeleden uit de reactorkern verwijderd zijn. Zie voor de beheersing hiervan paragraaf 9.3;
- radioactieve stoffen die opgeslagen zijn in het afvalopslaggebouw. Het betreft vaten met afval en eventueel vaten met geactiveerde constructiedelen;
- splijtstoftransportcontainers, zowel met nieuwe als bestraalde splijtstof, bevinden zich soms op het terrein van de kerncentrale. Opslag van deze containers is toegestaan in het reactorgebouw, het afvalopslaggebouw, het machinehuis, of op geschikte plaatsen in de openlucht op het terrein van de KCB.

Zie voor verdere informatie over de beheersing en behandeling van radioactief afval hoofdstuk 14, en voor de stralingsbeschermingsaspecten in paragraaf 11.1.

11.2.1 Radioactieve bronnen

Op het terrein van de KCB worden handelingen verricht met radioactieve bronnen. Hoog actieve bronnen worden bij NV EPZ gebruikt voor kalibratiedoeleinden. Het betreft ingekapselde bronnen die ^{137}Cs of ^{60}Co bevatten. De bronnen worden opgeslagen in de kalibratieopstelling in het gecontroleerd gebied of in één van de speciaal daartoe ingerichte kluizen binnen het gecontroleerd gebied van de KCB. In procedures van het Integraal Management Systeem van EPZ is vastgelegd dat wordt voldaan aan de maatregelen voor hoogactieve bronnen die worden voorgeschreven in artikel 2.7 van het Uitvoeringsbesluit stralingsbescherming. De coördinerend (stralings)deskundige dient toestemming te geven voor het wijzigen van deze procedures. In bijlage C van de ondehavige aanvraag is aangegeven op welke wijze is voldaan aan de vereisten volgens artikel 20a t/m 20f van het Besluit stralingsbescherming.

Tevens worden op het terrein van de KCB radioactieve bronnen gebruikt voor kalibratie- en analysedoeleinden en als onderdeel van meetinstrumenten. Dit zijn bronnen die één of meer nucliden bevatten in verschillende vormen namelijk gas, vloeistof of vast. Deze nucliden zijn onder andere ^3H , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{241}Am , ^7Be , ^{57}Co , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{203}Hg , ^{133}Ba , ^{36}Cl , ^{204}Tl , ^{90}Sr , ^{14}C , ^{109}Cd , ^{155}Eu , maar ook andere nucliden die behoren tot de splijtingsproducten zijn mogelijk. De bronnen worden opgeslagen in één van de speciaal daartoe ingerichte kluizen binnen het gecontroleerd gebied of ze zijn onderdeel van een meetinstrument. Gesommeerd bedraagt de maximale

activiteit van de op het terrein van de KCB aanwezige radioactieve bronnen 4000 GBq. Alle voorzieningen bevinden zich in het gecontroleerd gebied.

De beheersing van de bronnen ligt vast in procedures van het Integraal Management Systeem van EPZ. Dit betekent onder andere periodieke controle op aanwezigheid en besmetting. Hierbij wordt ook beoordeeld of de opslag aan de eisen voldoet.

Handelingen met de bronnen mogen alleen uitgevoerd worden door hiervoor gekwalificeerd personeel onder begeleiding van een toezichthoudend deskundige. Bronnen worden alleen uit de opslag gehaald door medewerkers die hiervoor gekwalificeerd zijn. Dit wordt gewaarborgd door deze medewerkers te registreren en ook alleen aan deze medewerkers de toegang tot de opslagruimte te verlenen. Het meenemen van een bron uit een opslagruimte wordt geregistreerd in een overzicht. Als een bron het gecontroleerd gebied verlaat wordt dit geregistreerd en vinden de controles plaats die horen bij het afvoeren van materiaal uit het gecontroleerd gebied (controle op besmetting en dosistempo). De resultaten worden vastgelegd.

11.2.2 “Hete” laboratorium

Binnen het gecontroleerd gebied van de KCB bevindt zich een radionucliden-laboratorium op klasse B-niveau. In dit laboratorium kunnen werkzaamheden worden uitgevoerd in de werkruimte met gebruikmaking van plaatselijke afzuiging of binnen DIN 12924 gekeurde zuurkasten.

In dit radionucliden-laboratorium worden chemische en radiochemische analyses uitgevoerd en vindt de daartoe noodzakelijke monstervoorbereiding plaats. De meeste handelingen hebben betrekking op waterige oplossingen en de kans op verspreiding van radionucliden is gering; verspreidingsfactor $p=-2$. Bepalend voor deze categorie handelingen zijn de analyses van het hoofdkoelmiddel. Tijdens normale bedrijfsvoering (zonder splijtstofschade) bedraagt het maximaal aantal Re's voor deze handelingen 0,016. De Technische Specificaties laten bedrijfsvoering toe met verhoogde activiteitsconcentraties (met splijtstofschade) in het primair systeem. In deze situatie bedraagt het maximaal aantal Re's 0,74.

Voor enkele minder voorkomende handelingen dient een verspreidingsfactor van $p=-3$ te worden gehanteerd. Bepalend voor deze categorie handelingen zijn de destillaties ten behoeve van tritiumanalyses van het hoofdkoelmiddel. Het maximaal aantal Re's voor deze handelingen bedraagt 0,01.

Voor één handeling, het indampen van monsters van geconcentreerd vloeibaar radioactief afval, dient een verspreidingsfactor van $p=-4$ te worden gehanteerd. Het maximaal aantal Re's voor deze handelingen bedraagt 0,12.

Op het radionucliden-laboratorium worden tevens kalibratiebronnen gemaakt voor het kalibreren van meetapparatuur die wordt gebruikt om radiochemische analyses uit te voeren. De grootste bron die daarvoor wordt toegepast betreft 2 MBq Cs-137. Deze wordt gebruikt voor het maken van een kalibratiereeks. Het betreft een handeling met een verspreidingsfactor $p=-2$ en het maximaal aantal Re's bedraagt 0,02.

11.3 ONTWERPASPECTEN TEN AANZIEN VAN DE STRALINGSBESCHERMING

11.3.1 Ontwerpbasis

Ten aanzien van de stralingsbescherming liggen de volgende uitgangspunten aan het ontwerp ten grondslag:

- ruimtelijke scheiding van het nucleaire en het conventionele deel van de centrale. Radioactieve stoffen bevinden zich daarbij op een beperkt aantal plaatsen;
- voldoende beschermende maatregelen (zoals afscherming en ventilatie) ten aanzien van het personeel dat aan de straling blootgesteld kan worden, zodat de stralingsbelasting van dat personeel ruim onder de geldende dosisnormen blijft;
- voldoende maatregelen om de stralingsbelasting van de omgeving te voorkomen of te beperken.

Alle nucleaire delen van de centrale met uitzondering van het afvalopslaggebouw, behoren tot het zogenaamde gecontroleerd gebied. In dit gebied vinden continu toegangscontrole en dosisregistratie plaats. Het betreft het reactorgebouw en het reactorhulpgebouw. In het afvalopslaggebouw vinden tijdens werkzaamheden afhankelijk van het heersende dosistempo toegangscontrole en dosisregistratie plaats. In alle overige gebouwen bevinden zich, uitgezonderd in enkele ruimten ionisatierookmelders, geen stralingsbronnen.

11.3.2 Afscherming

De belangrijkste radioactieve bron is de reactorkern. De afscherming daarvan wordt in de radiale richting gevormd door de volgende onderdelen:

- koelmiddel/moderator (water);
- kernhouder en thermisch schild (RVS);
- reactorvat (staal);
- biologisch schild (beton).

Het biologisch schild is als enige alleen ten behoeve van de afscherming toegepast. De overige hebben in eerste instantie een andere functie. Het biologisch schild is zodanig ontworpen dat de stralingsniveaus in de omliggende ruimten als gevolg van de straling afkomstig van de reactorkern de toegankelijkheid van deze ruimten niet belemmeren. Daarnaast dient het ontwerp van het biologische schild zodanig te zijn dat na de afschakeling van de reactor de stralingsbelasting in de stoomgeneratorruimten ten gevolge van de activering van het beton aan de binnenzijde van het biologisch schild klein is ten opzichte van die van het hoofdkoelmiddel.

De temperatuur van het biologisch schild wordt laag gehouden door een koelsysteem van het biologisch schild (TM) om optredende spanningen in het beton te beperken. Boven de kern wordt de afscherming tijdens vermogensbedrijf gevormd door het koelmiddel, het vatdeksel en afdekbalken van beton. Door de relatief grote hoeveelheid water boven de kern is de activering van het vatdeksel en de afdekbalken als gevolg van invangst van neutronen gering. De afdekbalken dienen daarom vooral voor het afschermen van de gammastraling.

Het primair systeem is verder afgeschermd door betonnen wanden die de bedrijfsruimte scheiden van de installatieruimte. De volledige installatie- en bedrijfsruimte is geplaatst in de secundaire afscherming van gewapend beton, voor verdere afscherming naar de omgeving (de stalen veiligheidsomhulling is voor de afscherming niet van wezenlijk belang).

De andere nucleaire systemen zijn voor zover noodzakelijk voorzien van een betonnen afscherming.

De splijtstofelementen die in het splijtstofopslagbassin zijn opgeslagen worden naar boven toe afgeschermd door een laag water. Het bassin zelf bestaat uit betonnen wanden die de

afscherming naar beneden en opzij waarborgen. Tijdens een splijtstofwisseling zijn het vatdeksel en de betonnen afdekbalken verwijderd. De afscherming wordt dan gewaarborgd door een extra laag water boven het reactorvat. De splijtstofelementen die gewisseld worden blijven tijdens het wisselen onder een ruime hoeveelheid water. De stralingsbelasting voor het personeel en de splijtstofwisselmachine blijft hierdoor laag.

De afscherming van het afval in het afvalopslaggebouw wordt gevormd door de vaten met cement waarin het radioactief afval is opgeslagen, door de betonnen wanden en door afdekbalken van beton. Het betreft binnenmuren voor de afscherming van de directe omgeving van het gebouw.

Wanneer zich in verband met transport splijtstofelementen op het terrein van de kerncentrale bevinden, dan zijn deze altijd verpakt in containers die van adequate afscherming en afdichting zijn voorzien. In geval van containers voor afgewerkte splijtstofelementen hebben deze bijvoorbeeld een stalen wand van 32 cm dik. Afhankelijk van technische ontwikkelingen kan het ontwerp van deze containers van tijd tot tijd wijzigen.

Uitsluitend containers die, via een aparte vergunningsprocedure, goedgekeurd zijn door het bevoegd gezag mogen voor transport van splijtstoffen ingezet worden.

De belangrijkste afschermingen en de toegepaste materiaaldiktes zijn gegeven in tabel 11.3.2/1.

Tabel 11.3.2/1 Belangrijkste afschermingen

Onderdeel	Materiaal	Dikte (cm)
Biologisch schild	Beton	200
Afdekbalken reactorbassin	Beton	100
Afscherming primair systeem	Beton	100-150
Secundaire afscherming	Beton	60
<u>Afscherming van</u>		
ionenwisselaars	Beton	90
opslagplaats ionenwisselaarhars	Beton	100
volumevereffeningstank (TA)	Beton	120
volumeregelpompen (TA)	Beton	60
hoofdkoelmiddelreservoirs (TD)	Beton	80
verdampinstallatie (TD)	Beton	80
verdampconcentraattanks (TT)	Beton	70
kern bij splijfstofwisseling	Water	1100
element bij splijfstofwisseling	Water	350
elementen in splijstfopslagbassin	Water	800
Wanden splijstfopslagbassin	Beton	140-180
Bodem splijstfopslagbassin	Beton	200
Binnenmuren afvalopslaggebouw	Beton	50-60
Buitenmuren afvalopslaggebouw	Beton	100

11.3.3 Ventilatie

De ventilatie heeft ten aanzien van de stralingsbescherming tot doel de stralingsbelasting van het personeel en de omgeving zo laag mogelijk te houden. Dit wordt bereikt door de verspreiding van eventuele activiteit in de lucht te voorkomen, door het wegnemen van eventuele activiteit door middel van filtering en door afvoer van mogelijke besmette lucht. Dit wordt verzorgd door het nucleair ventilatiesysteem (TL).

Het voorkomen van de verspreiding van eventuele activiteit in de lucht wordt gewaarborgd door het in stand houden van een bepaald drukverloop binnen de gebouwen. De delen met de hoogste eventuele activiteit hebben de laagste druk zodat daar vandaan geen lucht kan weglekken. Daarnaast worden alle nucleaire delen van de centrale op een onderdruk ten opzichte van de buitenlucht gehouden, zodat ook geen activiteit ongecontroleerd naar de omgeving kan lekken. Bij de afvoer van lucht door de ventilatieschacht wordt de hoeveelheid afgevoerde activiteit bewaakt.

11.3.4 Instrumentatie ten behoeve van de stralingsbescherming

De instrumentatie ten behoeve van de stralingsbescherming heeft een viertal doelen:

- bewaking van de activiteit in de systeemkringen;
- bewaking van de activiteit in de lucht in de gebouwen;
- bewaking van het stralingsniveau in de diverse ruimten;
- bewaking van de naar de omgeving afgegeven activiteit.

Om verspreiding van radioactieve stoffen binnen de centrale naar niet-radioactieve kringlopen ten gevolge van lekkages te onderkennen en te kunnen beperken, wordt in een aantal van deze kringlopen de activiteit gemeten (zie paragraaf 14.6.1).

De activiteit van de lucht in de gebouwen wordt bepaald door middel van metingen aan de afvoerlucht. De aanwezige activiteit van edelgassen, aerosolen en jodium wordt daarbij bepaald (zie paragraaf 14.6.1).

De bewaking van het stralingsniveau in de diverse ruimten gebeurt met het ruimtestralingsmeetsysteem (XQ). Dit systeem heeft tot taak het controleren van de verschillende ruimten op aanwezige straling teneinde het bedrijfspersoneel te beschermen tegen een te hoge stralingsbelasting. Het XQ-systeem is opgesteld in die ruimten welke, gedurende normaal bedrijf en storingen door het bedrijfspersoneel regelmatig betreden worden. Een overschrijding van een bepaald toelaatbaar dosistempo kan een beperking van de verblijfsduur noodzakelijk maken. Voor de bewaking hiervan is in de ruimten alarmeringsapparatuur aangebracht.

In het gecontroleerd gebied zijn verschillende meetopstellingen uitgevoerd met een ongevalsbestendige ionisatiekamer. Deze meetopstellingen kunnen na een ongeval uitsluitel geven over het toegankelijk zijn van de verschillende delen van het gecontroleerd gebied.

Ten behoeve van de bescherming van de omgeving tegen straling wordt de aan de omgeving afgegeven activiteit bewaakt. Dit gebeurt door middel van meting van de via de ventilatieschacht afgegeven lucht en door middel van metingen in het radioactief afvalwatersysteem (zie paragraaf 14.6.2).

11.3.5 Zonering

Elke ruimte of zone binnen het gecontroleerd gebied is voorzien van een bord waarop het dosistempo, de oppervlaktebesmetting en de luchtbesmetting zijn aangegeven. Tevens is aangegeven of de ruimte respectievelijk vrij toegankelijk is of dat toestemming of speciale begeleiding en/of voorzieningen nodig zijn voordat de ruimte betreden mag worden.

INHOUDSOPGAVE

12. ALARMRESPONSORGANISATIE KCB	12-2
12.1 INLEIDING ALARMRESPONSORGANISATIE KCB	12-2
12.1.1 Definities	12-2
12.1.2 Uitgangspunten	12-2
12.2 ALARMRESPONSORGANISATIE KCB	12-4
12.2.1 Ongevalseclassificatie	12-5
12.3 ALARMRESPONSMIDDELEN	12-6
12.3.1 Alarmresponsaccommodaties	12-6
12.3.2 Overige technische Alarmresponsmiddelen	12-7
12.3.3 Alarmresponsprocedures en -instructies	12-7
12.4 EVALUATIE	12-10

12. ALARMRESPONSORGANISATIE KCB

12.1 INLEIDING ALARMRESPONSORGANISATIE KCB

12.1.1 Definities

Alarmresponsorganisatie: organisatie, bestaande uit technische, organisatorische, personele en administratieve middelen, voor het beheersen van daadwerkelijk optredende incidenten.

Alarmplanorganisatie: organisatie, gevormd door lijnfunctionarissen, die tijdens normale bedrijfsomstandigheden, verantwoordelijk is voor het realiseren, instandhouden, opleiden en oefenen van de Alarmresponsorganisatie.

12.1.2 Uitgangspunten

De Alarmresponsorganisatie KCB beheerst de eventueel voorkomende incidenten die inherent zijn aan het bedrijven van de kernenergiecentrale die niet of niet volledig door de reguliere organisatie beheerst kunnen worden.

De soorten incidenten waarvoor EPZ-KCB voorbereid wil zijn, zijn vastgesteld vanuit het Risicomanagement van EPZ. De risico's zijn, naast de voor industriële activiteiten bekende risico's, gekenmerkt door specifieke risico's als gevolg van het bedrijven van een kernenergiecentrale, namelijk het vrijkomen van radioactieve stoffen en ioniserende straling.

De uitgevoerde risicoanalyse op het gebied van nucleaire ongevallen is breed uitgevoerd en bevat zowel de interne risico's als de externe risico's.

De inrichting van de Alarmresponsorganisatie KCB is mede bepaald door de van toepassing zijnde regelgeving en in lijn met de externe alarmresponsorganisatie met betrekking tot de KCB, beschreven in het:

- Nationaal Crisisplan Stralingsincidenten;
- rampbestrijdingsplan Nucleaire Installaties (Veiligheidsregio).

De inrichting van de Alarmresponsorganisatie KCB en de beschikbaarheid van de alarmresponsmiddelen verzekert dat de besluitvorming over de te nemen acties tijdig, gecoördineerd en effectief zullen zijn.

De interne (KCB-) alarmresponsorganisatie richt zich op bronbestrijding, het onderzoek naar de ontwikkeling van het incident (bijvoorbeeld door het uitvoeren van metingen) en de bescherming van de werknemers binnen de terreingrens (inbegrepen de dosisregistratie van personeel).

De externe alarmresponsorganisatie, bestaande uit onder andere ANVS en de Veiligheidsregio, draagt zorg voor de bescherming van de bevolking tegen de gevolgen van radiologische straling inclusief de preventieve maatregelen zoals de verspreiding van Jodiumpillen. Zij laat metingen verrichten buiten de terreingrens en informeert het publiek.

EPZ exploiteert de KCB overeenkomstig het principe van opeenvolgende verdedigingslijnies (barrières). Voor de radiologische gevaarstelling onderscheidt men gewoonlijk vijf niveaus:

- verstoringen voorkomen;
- verstoringen beheersen zodat veiligheidssystemen niet aangesproken;
- verstoringen beheersen door aanspreken van veiligheidssystemen zodat schade aan de reactorkern wordt voorkomen;

- escalerende verstoringen beheersen mede m.b.v. de alarmresponsorganisatie met als doel de schade aan de reactorkern en een schadelijke lozing naar de omgeving te voorkomen of te beperken;
- de schadelijke gevolgen van verstoringen die tot een ongeval geëscaleerd zijn voorkomen of beperken. Acties door de lokale en nationale overheden geholpen door de alarmresponsorganisatie middels adequate informatievoorziening en door vertragen, beperken en beëindigen van de lozing.

Dit zogenaamde 'Defense-in-Depth' (DiD) principe is ook toegepast in het stelsel van alarmresponsinstructies (zie figuur 12.1.2/1).

DiD-niveau	1	2	3	4a		4b	5	
	voorkomen van verstoringen	detecteren en beheersen van verstoringen	beheersen van ernstige verstoringen binnen de ontwerpbasis	beheersen van verstoringen buiten de ontwerpbasis		voorkomen grote radioactieve lozing	beheersen van gevolgen van grote lozing	
Kans	n.v.t.	$> 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-6}$	$10^{-4} - 10^{-6}$	$< 10^{-6}$	$(< 10^{-7})$	
Bedrijfs-omstandigheden	normaal bedrijf		ontwerpbasis-omstandigheden	ongevalsomstandigheden		buiten-ontwerpbasis-omstandigheden	ernstige ongevallen	
Meet- en regeltechniek	automatische regelingen		reactorbeveiligingssysteem	ongevalsmonitoringsysteem		ongevalsmonitoringsysteem	ongevalsmonitoringsysteem	
Procedures	normale bedrijfs-procedures	storings-instructies	Nood Bedienings Procedures	Functie Herstel Procedures		Severe Accident Management Guidelines		
EPZ-verantwoordelijkheid	reguliere bedrijfsorganisatie		nemen van alle maatregelen binnen de terreingrens		alarmresponsorganisatie			
EPZ-taken	nemen van alle maatregelen binnen de terreingrens		in bedrijf blijven		kern intact houden		grote lozing voorkomen	lozing beperken en stoppen
Overheids-verantwoordelijkheid	normale organisatie(s)		n.v.t.		NCS-organisatie			
Overheidstaken	n.v.t.		n.v.t.		voorbereiden		nemen van alle maatregelen buiten de terreingrens	
	n.v.t.		n.v.t.		maatregelen ter bescherming bevolking			

Figuur 12.1.2/1 Relatie alarmresponsinstructies

12.2 ALARMRESPONSORGANISATIE KCB

In hoofdlijnen bestaat de KCB-alarmresponsorganisatie uit:

- gekwalificeerd c.q. geoefend Alarmresponspersoneel, bekend met de commandostructuur van de Alarmresponsorganisatie;
- alarmresponsmiddelen waaronder:
 - o alarmresponsaccommodaties;
 - o alarmresponsinstructies waarin opgenomen de met de externe hulporganisaties afgestemde taakafbakening en communicatie;
 - o overige alarmresponsmiddelen.

Om te komen tot vaststelling van de benodigde middelen, instructies en personeelskwalificatie-eisen zijn de volgende soorten incidenten die de alarmresponsorganisatie kunnen activeren vastgesteld:

- processtorings (KCB);
- externe bedreigingen voor het proces (KCB);
- brand (locatie);
- stralingsincidenten (locatie);
- incidenten met persoonlijk letsel (locatie);
- beveiligingsincidenten (locatie);
- niet-radiologische milieu-incidenten (locatie);
- communicatie-incidenten (intern en extern).

Op basis van (een combinatie van) deze incidentensoort(en) zijn realistische meervoudige maatgevende scenario's gemaakt, aan de hand waarvan de noodzakelijke middelen zijn bepaald. Deze middelen worden als volgt ingedeeld:

- A. technische middelen (huisvesting, apparatuur, brandstof, levensmiddelen, etc.);
- B. organisatorische middelen (organogram, taakbeschrijvingen, etc.);
- C. personele middelen (kwantiteit, individuele kwalificaties, etc.);
- D. administratieve middelen (procedures en werkinstructies).

Ad A en D: Technische en administratieve alarmresponsmiddelen worden in paragraaf 12.3 behandeld.

Ad B en C: De alarmresponsorganisatie (inclusief de commandostructuur) en de taken van de verschillende (groepen van) functionarissen zijn vastgelegd in taakomschrijvingen. Hierin zijn bijvoorbeeld de taken beschreven van de Site Emergency Director die onder andere verantwoordelijk is voor de communicatie met de externe alarmresponsorganisaties en die van de Liaison die tijdens noodsituaties de Veiligheidsregio aldaar toelichting geeft op de actuele situatie bij de KCB.

Ook is in deze set documenten het organogram opgenomen.

Met de twee relevante externe partijen, ANVS en de Veiligheidsregio, is afgestemd hoe de informatie-uitwisseling loopt in bepaalde noodsituaties. Details hierover zijn vastgelegd in alarminstructies.

Op basis van de scenario's komt een oefenprogramma tot stand waarin omvang, soort en frequentie van trainingen en opleidingen per alarmresponsfunctie is vastgelegd. De oefeningen lopen uiteen van monodisciplinaire desktop-exercities tot integrale oefeningen met deelname van onder andere Politie (beveiliging), Brandweer (brandbestrijding en ondersteuning bij accident management), ziekenhuis (medische zorg bij incidenten), het Nationaal Crisis Centrum (landelijke coördinatie op langere termijn) en Defensie (ondersteuning bij accident management). Het uitgevoerde oefenprogramma resulteert in gekwalificeerde alarmresponsfunctionarissen.

12.2.1 Ongevingsclassificatie

Indien een ernstig ongeval in een kernenergiecentrale optreedt, waarbij er dreiging aanwezig is voor de omgeving, wordt over de buiten het terrein van de KCB te nemen indirecte of directe maatregelen beslist door een beleidsteam van de rijksoverheid. De mogelijkheid bestaat echter dat bij een dergelijk ongeval al actie gewenst dan wel noodzakelijk is voordat het betreffende beleidsteam bij elkaar is gekomen en zich een beeld van de situatie heeft kunnen vormen. Met name lokale autoriteiten zullen direct acties willen (moeten) nemen, dan wel de voorbereiding daartoe willen (moeten) starten. In verband daarmee is voor vermogensreactoren in Nederland een zodanige ongevingsclassificatie opgesteld, zodat bij melding van een bepaalde ongevingsklasse, overheden een goed beeld krijgen van de (potentiële) omvang en impact van het ongeval en daarop adequaat kunnen reageren.

De gekozen klassen zijn als volgt gedefinieerd:

Emergency stand-by

Een situatie die in verband met de veiligheid van de kernenergiecentrale verhoogde waakzaamheid en interne maatregelen noodzakelijk maakt. Er heeft echter geen nucleair ongeval plaatsgevonden en de (jaar)lozingslimieten worden niet overschreden.

Plant emergency

Een gebeurtenis waarbij eventuele radiologische gevolgen beperkt blijven tot (een gedeelte van) de KCB.

Site emergency

Een gebeurtenis waarbij eventuele radiologische gevolgen beperkt blijven tot het terrein van de KCB.

Off-site emergency

Een nucleair ongeval dat kan leiden tot emissie van hoeveelheden radioactieve stoffen waarbij indirecte of directe maatregelen buiten het terrein van de KCB nodig kunnen zijn.

Voor het bepalen van de ongevingsklasse worden in een Alarmresponsinstructie nadere toetsingscriteria gegeven.

12.3 ALARMRESPONSMIDDELEN

12.3.1 Alarmresponsaccommodaties

Omdat bepaalde accommodaties, afhankelijk van de noodsituatie, niet bereikbaar of bruikbaar kunnen zijn, zijn er meerdere beschikbaar. De belangrijkste zijn:

- regelzaal;
- reserve-regelzaal;
- Alarmrespons Coördinatie Centrum (ACC);
- BOC-ruimte;
- brandweerkazerne;
- TIC.

Regelzaal

De regelzaal (Eng: Main Control Room) is gesitueerd naast de turbine-generatorhal. In het bedieningsconcept is rekening gehouden met de informatiebehoefte in noodsituaties. Zo wordt de actuele status van de kritische veiligheidsfuncties continu prominent gepresenteerd. Vanuit de regelzaal kunnen de gebunkerde veiligheidssystemen worden geactiveerd. Personeel in de regelzaal is beschermd tegen radioactieve en giftige lozingen door een automatisch omschakelend ventilatiesysteem (UV001/UV006). Daarbij is op de regelzaal ademluchtapparatuur aanwezig.

Reserve-regelzaal

De reserve-regelzaal is bedoeld voor situaties waarin de regelzaal niet meer gebruikt kan worden, bijvoorbeeld ten gevolge van brand of aardbeving. De reserve-regelzaal voorziet alleen in de bediening en procesinformatie van de systemen die nodig zijn voor reactorafschakeling en het in een veilige stabiele toestand brengen en houden van het nucleaire deel van de installatie en de splijstofinventaris en heeft dezelfde communicatiemiddelen als de regelzaal. Er is rekening gehouden met de minimaal vereiste autarkie om in het geval van uitval van de regelzaal over te gaan op de bediening vanuit de reserve-regelzaal.

Alarmrespons Coördinatie Centrum

Het ACC, Alarmrespons Coördinatie Centrum, is gehuisvest in een ondergrondse bunker. Het is onder andere uitgerust met een overdruk-ventilatiesysteem met actiefkoolfilter en een eigen noodstroomvoorziening. Alle noodzakelijke informatie is beschikbaar via het normale intranet en op papier. In het geval dat het ACC niet (meer) te gebruiken is, bijvoorbeeld bij overstroming, zijn er diverse uitwijklocaties beschikbaar.

BOC-ruimte

In één van de kantoorgebouwen op het terrein van de KCB is een ruimte ingericht om de groep Bedrijfsvoering Ondersteuning Coördinatie (BOC) te faciliteren. De BOC is verantwoordelijk voor het uitvoeren van mechanische en elektrische interventies (zoals reparaties, vervanging, etc.) in de installatie. In de BOC-ruimte is alle noodzakelijke informatie (digitaal of op papier) met betrekking tot de installatie beschikbaar.

Brandweerkazerne

De brandweerkazerne op het terrein van de KCB is toegerust met de noodzakelijk brandbestrijdingsmiddelen. Zo beschikt de bedrijfsbrandweer bijvoorbeeld over een schuimblusvoertuig dat kan worden ingezet bij vloeistofplas en transformatorbranden zoals beschouwd als maatgevend scenario.

TIC

Het TIC bevindt zich in een gebouw nabij het centraletterrein. Het TIC is een technisch informatiecentrum van waaruit camerabeelden gemonitord kunnen worden.

12.3.2 Overige technische Alarmresponsmiddelen

In de hierboven behandelde Alarmresponsruimtes en in het veld zijn naast de reeds benoemde voorzieningen en afhankelijk van functie en locatie overige noodzakelijke Alarmresponsmiddelen beschikbaar. De noodzaak is vastgesteld op basis van gepostuleerde realistische meervoudige maatgevende scenario's waarbij het uitgangspunt is dat ze het personeel ondersteunen in het vroegtijdig detecteren van de omstandigheden waarvoor alarmresponsacties noodzakelijk zijn en in het beperken van de gevolgen van een ongeval. Onderstaand een selectie van soorten Alarmresponsmiddelen:

- monsternamen, meet- en analyseapparatuur, zoals stralingsmeetapparatuur, warmtebeeldcamera's of rekenmodellen waarmee verspreiding van radioactief materiaal kan worden voorspeld;
- gereedschappen en reparatiemateriaal om bijvoorbeeld lekkages te kunnen dichten of apparatuur te kunnen uitwisselen;
- mobiele pompen en noodstroomaggregaten;
- persoonlijke beschermingsmiddelen waaronder ademluchtapparatuur en beschermende kleding;
- brandblusmiddelen;
- computers, (nood)communicatiemiddelen, fotoapparatuur;
- levensmiddelen;
- EHBO-middelen;
- brandstof zoals dieselolie en hulpstoffen zoals boorzuur.

12.3.3 Alarmresponsprocedures en -instructies

N.B. Zie in dit verband ook figuur 12.2/1 met betrekking tot de onderlinge relatie tussen alarmresponsdocumentatie vanuit het Defence in Depth principe.

Opmerking vooraf: Bij de samenstelling van de set van alarmresponsprocedures en -instructies is vooral rekening gehouden met de menselijke factor tijdens noodsituaties. Dat betekent dat de procedures en instructies eenduidig zijn in welke functionaris op welk moment wat moet doen. Zo zijn er voor de wachtingenieur instructies met duidelijke criteria en richtlijnen beschikbaar om vast te stellen of zich een ongewone/ongewenste situatie voordoet waarbij de alarmresponsorganisatie in werking moet worden gesteld en instructies voor het uitvoeren van stralingsmetingen tijdens ongevalssituaties.

De volgende procedures en instructies worden gebruikt in storings- en ongevalssituaties.

Storingsinstructie

Instructie die voorschrijft hoe te handelen in geval van een storing.

Noodbedieningsprocedure (NBP)

Procedure die voorschrijft hoe te handelen in geval van een verstoring waarbij het reactorbeveiligingssysteem heeft ingegrepen, met als doel ernstige beschadiging van de reactorkern te voorkomen.

Uitgangspunt voor het ontwerp van de centrale is dat mogelijke verstoringen zodanig worden beheerst dat zij niet leiden tot een radioactieve lozing waarbij buiten het centraal terrein snelle maatregelen ter bescherming van de bevolking nodig zijn (ontwerpongevallen). Daartoe bewaakt het reactorbeveiligingssysteem het proces en neemt zodanig automatische acties dat gedurende de eerste 30 minuten na zo'n verstoring geen menselijk ingrijpen noodzakelijk is.

Accident Management (AM) maatregelen zijn bij ontwerpongevallen eerst na 30 minuten nodig. In de eerste 30 minuten kunnen maatregelen genomen worden om bij deze storingen de beheersing te verbeteren; deze worden eveneens tot accident management gerekend. Ten slotte

kunnen bij bijkomende storingen, zoals het falen van een veiligheidssysteem, accident management maatregelen nodig zijn.

Noodbedieningsprocedures dienen als leidraad voor het controleren van de automatische acties en het nemen van accident management maatregelen bij storingen die de reactorkern kunnen bedreigen. Omdat niet bij voorbaat bekend is welk ongeval plaats heeft gevonden, voorziet het pakket door middel van alternatieve acties, symptoomgebaseerde beslissingen, en overgangen naar andere subprocedures binnen het pakket, in passende en tijdige acties voor een groot scala aan mogelijke (buiten)ontwerpongevallen.

Noodbedieningsprocedures zijn bedoeld om de centrale in een veilige stabiele situatie te krijgen waarin de normale bedieningsinstructies weer van toepassing zijn. Voor noodbedieningsprocedures wordt in internationaal taalgebruik meestal de term EOP's (Emergency Operating Procedures) gebruikt.

De NBP's met betrekking tot de KCB zijn volgens het PWROG (Pressurized Water Reactor Owners Group) concept opgesteld. In dit concept is rekening gehouden met de menselijke psychologie (menselijk falen) tijdens noodsituaties. Een voorbeeld daarvan is de iteratieve vraagstelling met betrekking tot de status van de installatie om zeker te stellen dat een eerder genomen beslissing de juiste is geweest. Periodiek wordt de set NBP's gereviewd tegen de nieuwste inzichten van de PWROG.

Functieherstelprocedure (FHP)

Procedure die voorschrijft hoe te handelen in geval van een directe bedreiging voor passieve barrières tussen de radioactieve stoffen in de reactorkern en de omgeving.

In buitenontwerpsituaties kan sprake zijn van (dreigend) functieverlies van de passieve veiligheidsbarrières tegen de verspreiding van radioactieve stoffen. De volgende veiligheidsfuncties zijn gedefinieerd:

- onderkritikaliteit;
- kernkoeling;
- secundaire warmteafvoer;
- integriteit van het reactorvat;
- inventaris van hoofdkoelmiddel;
- veiligheidsomhulling.

Als voor storingsbeheersing NBP's worden gebruikt dan worden de veiligheidsfuncties periodiek geëvalueerd. Daardoor is verzekerd dat een bedreiging van een barrière tijdig wordt vastgesteld en dat herstelmaatregelen worden genomen, indien de normale noodprocedures ter beheersing van het ongeval die bedreiging niet onderkennen of beheersen.

Indien er sprake is van dreigend functieverlies van de fundamentele barrières dan heeft het wachtpersoneel de taak met de hoogste prioriteit de bedreigde barrière te waarborgen.

De herstelmaatregelen ten behoeve van de veiligheidsfuncties zijn vastgelegd in functieherstelprocedures. Uitvoering van deze functieherstelprocedures vergt de onderbreking van alle andere in werking zijnde procedures. Daarvoor is een prioriteitensysteem voorgeschreven, dat gebaseerd is op de volgorde van de veiligheidsfuncties en een kleurcodering.

Bij de functieherstelprocedures met de hoogste prioriteit worden alle herstel mogelijkheden van de installatie aangewend om de eventuele gevolgen van het ongeval te beperken. Daartoe worden eerst de normale gekwalificeerde veiligheidssystemen toegepast. Is de dreiging daarmee niet weggenomen dan worden systemen ook gebruikt buiten het normale werkingsgebied (gebruik van de ontwerpreserves), zolang de dreiging van de veiligheidsfunctie aanwezig is.

Voorts zal bij functieverlies van gekwalificeerde veiligheidssystemen getracht worden niet-gekwalificeerde systemen in te zetten voor het herstel van de veiligheidsfunctie. Deze niet-gekwalificeerde systemen worden veelal door het reactorbeveiligings-systeem (YZ) afgeschakeld bij het optreden van een ongeval. Bij uitvoering van de functieherstelprocedures is het daarom mogelijk bepaalde YZ-functies te overbruggen.

Na het verlaten van de functieherstelprocedure wordt teruggegaan naar de van toepassing zijnde noodbedieningsprocedure om de veilige stabiele toestand te bereiken.

Severe Accident Management Guideline (SAMG)

Richtlijn die mogelijke beheers- en herstelstrategieën beschrijft om in geval van ernstige kernschade radiologische gevolgen voor de omgeving te voorkomen of te beperken, de installatie terug te brengen naar een stabiele, gecontroleerde toestand, en deze langdurig te handhaven.

Severe Accident Management (SAM) maatregelen worden genomen indien een combinatie of opeenstapeling van verstoringen (buitenontwerp), zoals falen van redundante/diversitaire veiligheidssystemen, leiden tot ernstige schade van de reactorkern.

SAMG's worden aangestuurd vanuit NBP's en/of FHP's.

NBP's, FHP's en SAMG's bevatten maatregelen ter bescherming van de passieve barrières (behoud intacte, eventueel herstel van falende barrières). NBP's en FHP's zijn primair gericht op het beschermen van de eerste barrière (splijtstofmatrix). SAMG's zijn primair gericht op het beschermen van de laatste barrières (primair en secundair containment). Als SAMG's van kracht zijn, heeft de eerste barrière gefaald en worden NBP's en FHP's niet meer uitgevoerd.

De opmerking die eerder is gemaakt ten aanzien van de basis en het periodiek review van NBP's geldt ook ten aanzien van FHP's en SAMG's.

Alarminstructie personeel

Instructie bestemd voor een specifieke groep binnen de alarmorganisatie met betrekking tot specifieke taken.

Alarminstructie Alarmmiddelen

Instructies voor het gebruik van complexere alarmmiddelen.

Aanvalsplan Brandweer

Plan ten behoeve van de bedrijfsbrandweer en eventueel de assisterende overheidsbrandweer met betrekking tot onder andere de situering van de gebouwen, aanwezige brandveiligheidssystemen en de opslagplaatsen van gevaarlijke stoffen.

Het concept dat ten aanzien van maatregelen bij (buiten-)ontwerpongevallen wordt gehanteerd is nader toegelicht in paragraaf 6.11.

12.4 EVALUATIE

De alarmplan- en de alarmresponsorganisatie worden jaarlijks geëvalueerd. Input voor deze jaarevaluatie zijn de bevindingen uit de afzonderlijke evaluatierapporten van alle in dat jaar gehouden oefeningen. De evaluaties leiden tot verbeteringen van (delen van) de alarmresponsorganisatie. In paragraaf 3.1 wordt de algemene werkwijze hiervan beschreven, die ook van toepassing is op alle overige bedrijfsprocessen.

INHOUDSOPGAVE

13. MILIEU	13-2
13.1 NUCLEAIRE MILIEUASPECTEN	13-2
13.1.1 Dosis van omwonenden.....	13-2
13.2 NIET-NUCLEAIRE MILIEUASPECTEN	13-8
13.2.1 Lucht	13-9
13.2.2 Bodem.....	13-10
13.2.3 Oppervlaktewater	13-10
13.2.4 Geluid.....	13-11
13.2.5 Afvalstoffen	13-13
13.2.6 Energieverbruik.....	13-14
13.2.7 Overige.....	13-14

13. MILIEU

13.1 NUCLEAIRE MILIEUASPECTEN

Veruit het belangrijkste mogelijke nucleaire milieu-effect van het bedrijven van de KCB is de beïnvloeding van mens en milieu door vrijkomende ioniserende straling. Het uitgangspunt bij de stralingsbescherming van mens en milieu is dat daar waar de bevolking voldoende wordt beschermd tegen de gevolgen van ioniserende straling er tevens voldoende bescherming van dieren, planten en goederen is.

In hoofdstuk 13.1.1 wordt ingegaan op de stralingsbelasting voor omwonenden tijdens normaal bedrijf van de KCB. De stralingsbelasting in ongevalssituaties wordt behandeld in paragraaf 7.5 en paragraaf 7.8. Het Stralingsbeschermingsprogramma van de KCB wordt behandeld in paragraaf 11.1.

13.1.1 Dosis van omwonenden

Maximale individuele dosis

Bij normaal bedrijf van de kernenergiecentrale kan de bevolking op twee manieren in aanraking komen met ioniserende straling afkomstig uit de centrale:

- directe straling uit de gebouwen. Deze straling beperkt zich tot de onmiddellijke omgeving van bepaalde gebouwen en is op de terreingrens laag ten opzichte van de vergunde jaarlimiet;
- lozingen van radioactieve stoffen (zie hoofdstuk 14). De stralingsdoses ten gevolge van deze lozingen zijn eveneens zeer gering maar strekken zich uit over een groter gebied.

Om bovenstaande stralingsbelasting te bewaken worden op de terreingrens (KCB) en in de omgeving van de centrale metingen uitgevoerd. Het betreft exposiemetingen en activiteitsmetingen aan lucht, water, slib, wier, gras (zie figuren 13.1.1/1 t/m 13.1.1/3). Bij de bepaling van de plaats en het aantal van de meetpunten is rekening gehouden met de verdeling over de windroos, de bereikbaarheid voor snelle gegevensverwerking onder noodsituaties en bescherming tegen vandalisme. Op grond van deze overwegingen kunnen de plaats en het aantal van de meetpunten aan wijziging onderhevig zijn.

Uit metingen van de directe straling afkomstig van de centrale blijkt dat de stralingsniveaus rond de centrale ten gevolge van het bedrijfsvoeren niet meetbaar zijn toegenomen.

Dosisschattingen zijn gebaseerd op modelberekeningen voor verspreiding in de omgeving en voor blootstelling van de mens aan verspreide radioactieve stoffen. Hoewel de concentraties van geloosde radioactieve stoffen in de omgeving van de kernenergiecentrale zeer laag zijn, kunnen directe metingen van radionucliden in lucht, water, bodem en voedingsmiddelen gebruikt worden als ondersteuning van de berekende waarden.

De in de atmosfeer geloosde radioactieve stoffen worden in de omgeving verspreid. Met uitzondering van de edelgassen zullen zij na korte of langere tijd op de bodem en het wateroppervlak neerslaan. Voor het bepalen van de concentraties van de radioactieve stoffen in de lucht en op het bodemoppervlak is gebruik gemaakt van het verspreidingsmodel STACKS, dat werkt met het Nieuw Nationaal Model, en weersgegevens voor de regio Vlissingen. Met behulp van transportmodellen zijn de concentraties van de radioactieve stoffen in voedsel en drinkwater berekend.

Uit de zo verkregen gegevens over de hoeveelheden en concentraties van radioactieve stoffen op de bodem en in lucht, water en voedingsmiddelen zijn de maximale individuele doses berekend.

Met behulp van modellen voor de verspreiding in water zijn de concentraties van de radioactieve stoffen in het maritieme milieu berekend als gevolg van de lozingen in het oppervlaktewater. Daarbij is met behulp van concentratiefactoren uit de berekende concentraties in het water de concentraties in vissen en in schelp- en schaaldieren afgeleid. De maximale individuele dosis als gevolg van de lozingen zijn berekend op grond van veronderstelde consumpties van visserijproducten conform de nationale beleidsstandpunten ten aanzien van de stralingshygiëne.

Ten aanzien van de doses als gevolg van de lozing van radioactieve stoffen zijn berekeningen uitgevoerd op basis van de lozingen met de omvang van de vergunningslimieten en van de werkelijke lozingen gemiddeld over de periode 2003-2012. De beschouwde blootstellingswegen omvatten uitwendige bestraling door radioactieve stoffen in de lucht en op de bodem, inademing (inhalatie) van radioactieve stoffen en de opname via de slokdarm (ingestie) door consumptie van landbouw- en visserijproducten en van drinkwater. Maximale individuele doses zijn met behulp van boven beschreven modellen berekend voor een referentiepersoon, zijnde een volwassen persoon uit de bevolking die de hoogste individuele dosis ontvangt. In tabel 13.1.1/1 is de bijdrage via de diverse blootstellingswegen aan de individuele dosis ten gevolge van gemiddelde lozingen over de periode 2000-2009 en lozingen met de omvang van de vergunningslimieten gegeven.

Voor de dosis als gevolg van de inname van een bepaalde hoeveelheid radioactiviteit in het lichaam in relatie tot de leeftijd geldt voor de radioactieve stoffen die bij de lozingen van de kernenergiecentrale bij normaal bedrijf een rol kunnen spelen, een aantal globale regels. Doses als gevolg van de inname van eenzelfde hoeveelheid radioactiviteit in het lichaam, via inhalatie of ingestie, zijn bij kinderen en jonge volwassenen in het algemeen tweemaal zo groot als bij de referentiepersoon. Een uitzondering hierop vormen de kortlevende jodium-isotopen (o.a. ^{131}I) waar de doses voor kinderen en jong volwassenen, afhankelijk van de leeftijd, ongeveer acht keer de dosis voor de referentiepersoon kan bedragen. Doses ten gevolge van uitwendige bestraling zijn voor alle beschouwde groepen vrijwel gelijk.

Tabel 13.1.1/1 Dosisbijdragen conform DOVIS-A en DOVIS-B via diverse blootstellingswegen als gevolg van gemiddelde lozingen gedurende de periode 2000-2009 en lozingen met de omvang van de vergunningslimieten.

Blootstellingspad	Dosis (10^{-6} mSv/jaar)			Meest belastende nucliden
	Gemiddelde lozing 2000-2009 ⁺	Maximale lozing 2000-2009 ⁺	Vergunning-Limiet	
A LUCHTLOZINGEN				
Extern pluim	2,1	8,4	$3,8 \cdot 10^2$	Edelgassen ^{60}Co ^3H , ^{131}I ^{14}C
Extern bodem	$5,8 \cdot 10^{-2}$	1,3	$2,0 \cdot 10^3$	
Inwendig inhalatie	$7,1 \cdot 10^{-1}$	1,0	$1,5 \cdot 10^1$	
Inwendig ingestie	$1,9 \cdot 10^1$	$2,7 \cdot 10^1$	$7,2 \cdot 10^1$	
B WATERLOZINGEN				
Inwendig ingestie	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^1$	^{60}Co
TOTAAL (afgerond)	$2,2 \cdot 10^1$	$3,8 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^3$	

waarde o.b.v. vergunningslimiet

⁺ In de periode 2000-2009 werd alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. De dosisbijdrage zal door de inzet van c-ERU en MOX splijtstoffen niet of nauwelijks wijzigen.

Effecten

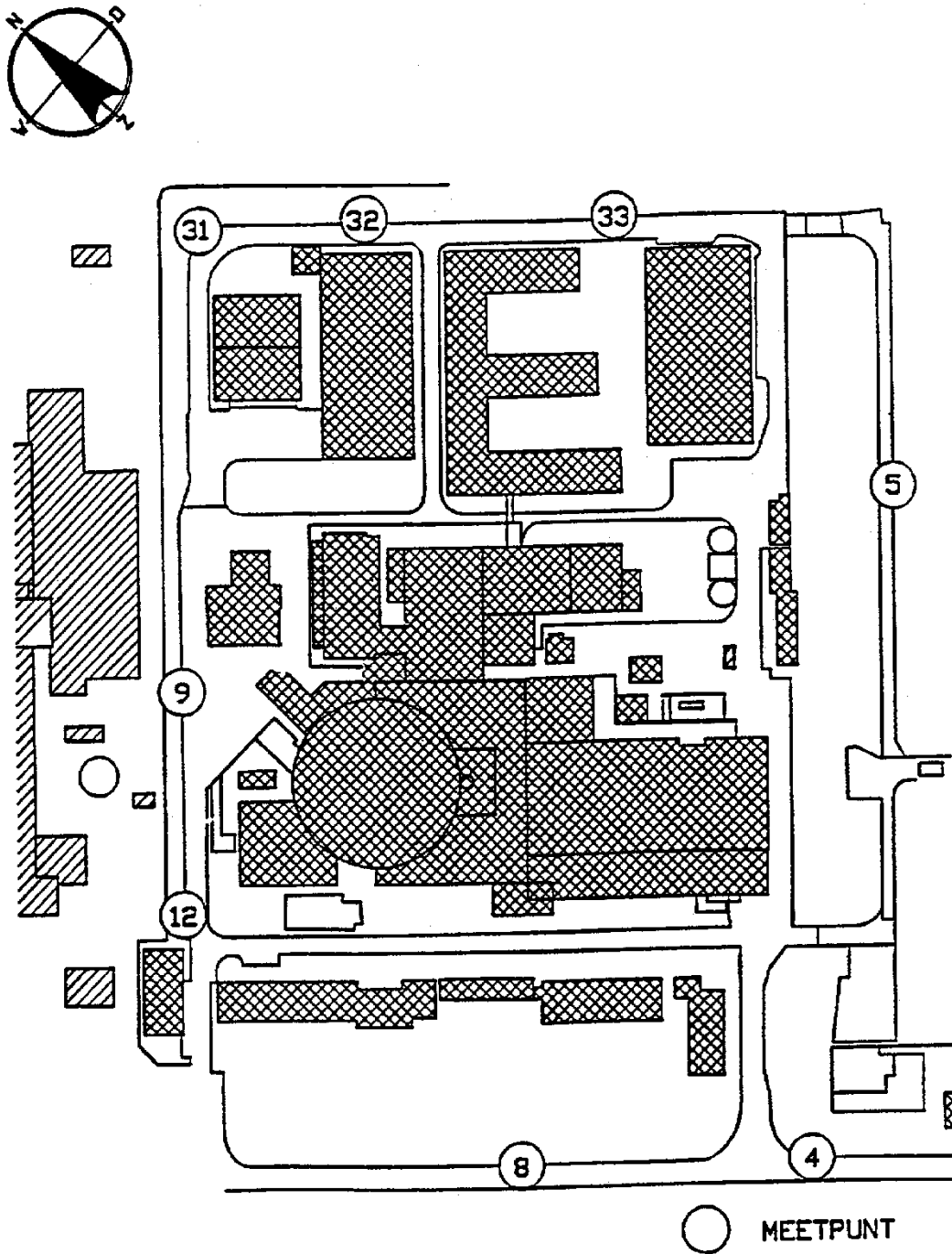
Ioniserende straling geeft zijn energie af door middel van ionisaties in de absorberende materie. Wanneer dit gebeurt in een weefselcel en in het bijzonder in een DNA-molecuul, kan dit chromosoombeschadiging, resulterend in celdood of een gemuteerde cel, tot gevolg hebben.

Schade aan de gezondheid treedt op indien in korte tijd als gevolg van een hoge dosis zeer veel cellen sterven. De afgestorven cellen kunnen dan namelijk niet snel genoeg vervangen worden via celdeling van nog gezonde cellen. Hierdoor ontstaat een tekort aan cellen, waardoor het orgaan of weefsel niet goed meer kan functioneren. Dergelijke effecten noemt men acute of deterministische effecten. Deze effecten treden slechts op bij doses van meer dan 500 mSv, wanneer deze in korte tijd (enkele dagen of korter) worden ontvangen.

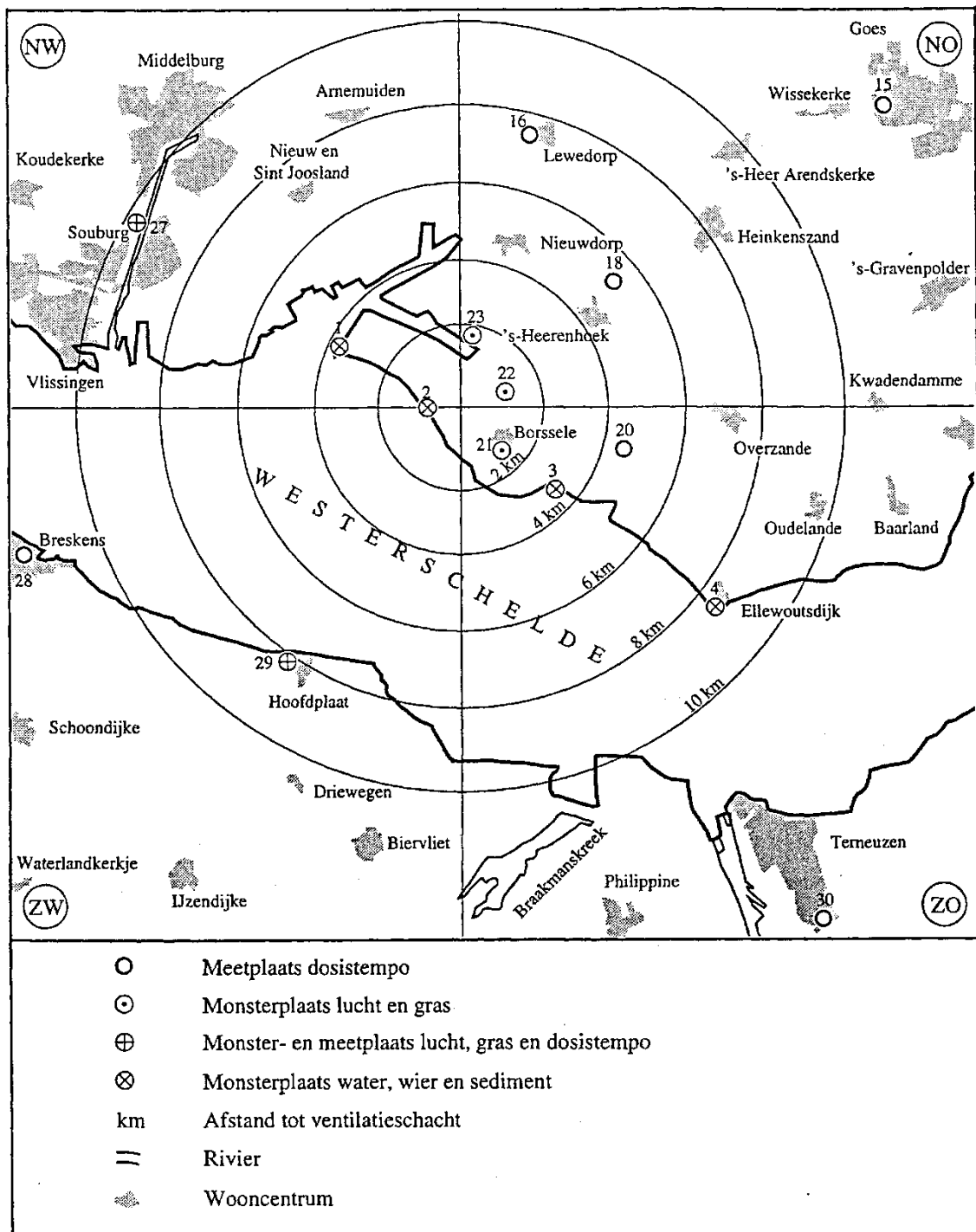
Bij de lage doses en lage dosistempi waarvan bij normaal bedrijf sprake is, treden geen acute effecten op. Er kunnen echter wel gemuteerde cellen ontstaan, die later kunnen uitgroeien tot een tumor. De kans van optreden wordt gegeven door de risicofactor. Internationaal wordt aangenomen dat de kans op overlijden aan een door straling geïnduceerde tumor 0,05 per Sievert effectieve dosis bedraagt (Besluit Stralingsbescherming). Deze risicofactor is afgeleid voor relatief hoge doses en dosistempi, maar wordt veiligheidshalve ook in het lage dosisgebied gehanteerd.

De dosislimiet voor leden van de bevolking bedraagt 0,1 mSv/jaar (Bkse). Tevens is door de Nederlandse overheid aangegeven dat doses beneden 0,001 mSv/jaar, vanwege het geringe risico als secundair mogen worden beschouwd. De maximale individuele doses afkomstig van reguliere lozingen door KCB liggen hier met $35 \cdot 10^{-6}$ mSv/jaar (gemiddeld in de periode 2003-2012) ruimschoots onder. Het mogelijke overlijdensrisico ten gevolge van deze lozingen bedraagt $2 \cdot 10^{-9}$ /jaar (kans van 2 op een miljard).

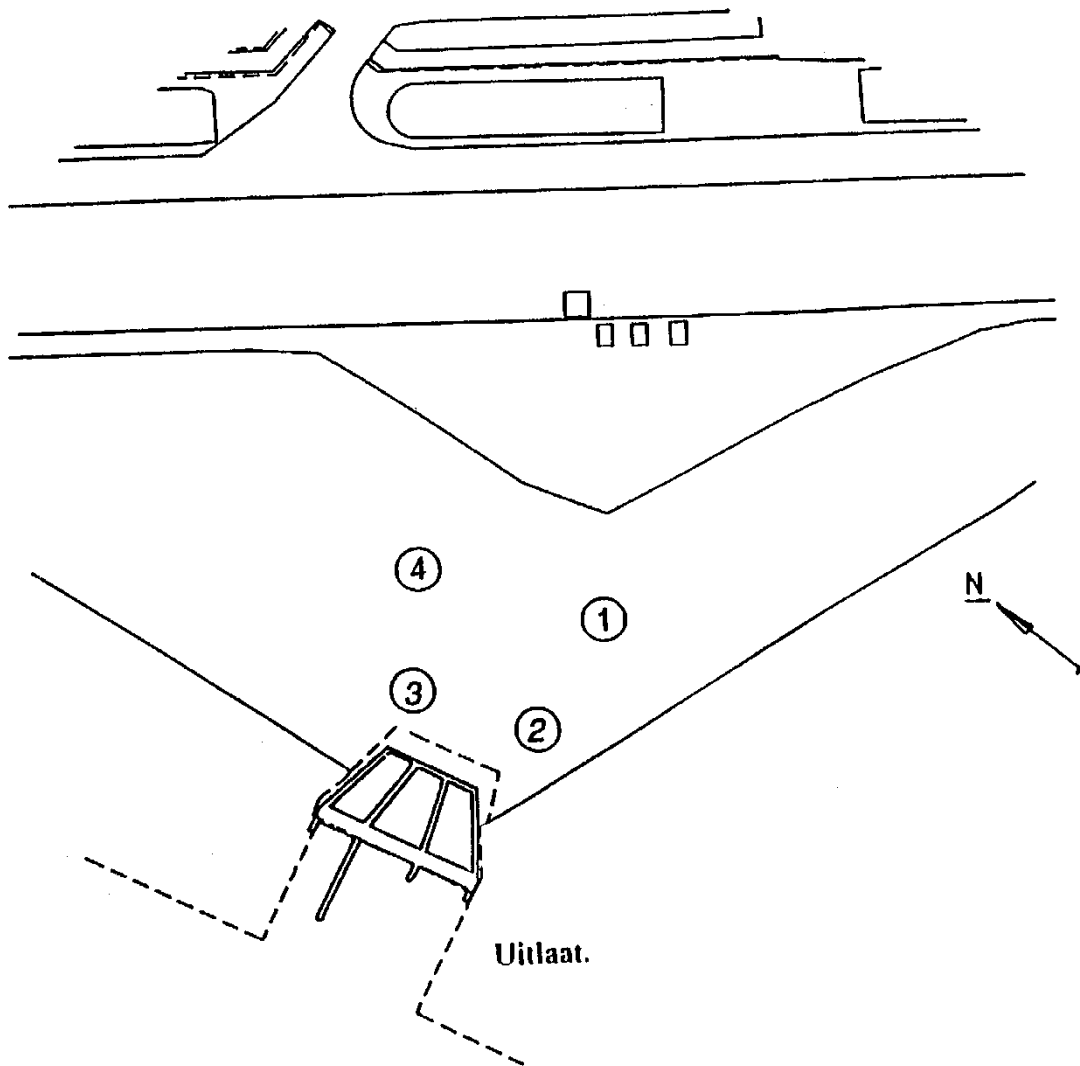
Ter vergelijking: het gemiddelde dosistempo van natuurlijke straling bedraagt in Nederland ongeveer $40 \cdot 10^{-6}$ mSv/uur (RIVM, 2003) met een variatie tussen $10 \cdot 10^{-6}$ mSv/uur en $70 \cdot 10^{-6}$ mSv/uur ($8,8 \cdot 10^{-2} - 6,1 \cdot 10^{-1}$ mSv/jaar). De hoogste waarden worden gevonden boven plaatsen waar rivierklei of zeeklei is afgezet; de lagere waarden boven zandgronden. Daarboven komt een bijdrage als gevolg van de kosmische straling, die door het RIVM eveneens op $40 \cdot 10^{-6}$ mSv/uur ($3,5 \cdot 10^{-1}$ mSv/jaar) wordt geschat. Het van nature aanwezige dosisequivalent bedraagt in Nederland derhalve $50 \cdot 10^{-6} - 110 \cdot 10^{-6}$ mSv/uur ($4,1 \cdot 10^{-1} - 9,6 \cdot 10^{-1}$ mSv/jaar). De gemeten dosistempi in de omgeving van de KCB vallen binnen deze range.



Figuur 13.1.1/1 Meetpunten nabij de KCB anno 2012



Figuur 13.1.1/2 Meetpunten in de omgeving van de KCB anno 2012



Figuur 13.1.1/3 Overzicht zandbemonsteringsplaatsen anno 2012

13.2 NIET-NUCLEAIRE MILIEUASPECTEN

In de voorgaande VR-hoofdstukken is de aandacht uitgegaan naar alle aspecten van veiligheid die direct of indirect betrekking hebben op radioactiviteit en ioniserende straling bij elektriciteitsopwekking uit kernenergie. Bij de omvangrijke installatie die daarvoor noodzakelijk is, is het onvermijdelijk dat daarbij ook niet-nucleaire, conventionele, milieuaspecten bestaan, die nadelige gevolgen voor mensen, planten, dieren en goederen kunnen hebben en dus voorkomen en beheerst moeten worden. Deze conventionele milieuaspecten worden in dit hoofdstuk behandeld.

EPZ-KCB heeft met betrekking tot de milieuaspecten van haar activiteiten, te maken met algemene milieuwetgeving (denk aan Wet Milieubeheer) en met de Kernenergiewet (Kew). De Kew heeft voorrang (Lex Specialis) boven andere milieuwetgeving. Uitzondering op deze regel is de lozing van koelwater en niet-radioactief afvalwater in het oppervlaktewater, de grondwateronttrekking en de activiteiten baggeren en storten van baggerspecie; deze vallen namelijk onder de werkingssfeer van de Waterwet.

Binnen het Integraal managementsysteem (IMS) van EPZ-KCB (zie paragraaf 3.3) draagt het Compliance managementproces zorg voor de naleving van vigerende wet- en regelgeving en beheerst het Hoofdproces Milieu de milieuzorg van de KCB.

Belangrijk element binnen het hoofdproces Milieu, onderdeel van het IMS, is de analyse van milieuaspecten. Deze analyse houdt in dat van alle KCB-bedrijfsactiviteiten de milieuaspecten:

- lucht,
- bodem (en grondwater),
- oppervlaktewater,
- gebruik grond- en hulpstoffen,
- geluid,
- afval,

en de werkelijke milieueffecten in kaart zijn gebracht en de milieurisico's zijn gekwantificeerd. De in dit zelfde Overzicht Milieuaspecten gerefereerde beheersmethodes helpen zekerstellen dat de betreffende milieueffecten worden voorkomen of zo laag als redelijkerwijs mogelijk worden gehouden. Het Overzicht Milieuaspecten en de adequaatheid van beheersing wordt periodiek gereviewd.

In de beschrijvende documenten is een nadere onderbouwing gegeven van de risicoanalyse en de gekozen beheersmethode. In principe wordt de volgorde: bronaanpak - minimaliseren - gevolgbestrijding, aangehouden.

In de inrichting is een register beschikbaar met aanwezige chemicaliën, de samenstelling ervan, en de gevaren bij het gebruik. In werkinstructies wordt indien van toepassing daarnaar verwezen.

Voor die gevallen waarbij de milieueffecten ontstaan uit noodsituaties, wordt het voorkomen of zoveel als mogelijk beperken van milieueffecten aangestuurd vanuit het Alarmplan KCB. Onder andere is een Aanvalsplan beschikbaar om de hulpverleningsdiensten te informeren omtrent de aanwezigheid en locatie van schadelijke stoffen en zijn zogenaamde Deelplannen beschikbaar die uitgaande van maatgevende scenario's de noodzakelijke alarmplanmiddelen definiëren. In hoofdstuk 12 zijn de alarmorganisatie en alarmmiddelen meer gedetailleerd beschreven.

De milieuconsequenties ten gevolge van de ontmanteling van de KCB worden beschreven in hoofdstuk 15.

Het publiek en de overheid kunnen zich aan de hand van het Milieujarverslag op de hoogte stellen van de inspanning die EPZ-KCB zich getroost heeft om de milieu-effecten van de KCB zo laag mogelijk te houden.

Hieronder worden de conventionele milieueffecten aspectgewijs beschreven inclusief de beheerswijze.

13.2.1 Lucht

In de installatie worden koudemiddelen gebruikt welke vallen onder de Europese en nationale wet- en regelgeving (Uitvoeringsbesluit EG-verordening 1005/2009 ozonafbrekende stoffen; EG-verordening 514/2014 F-gassen). Het betreft toepassing van de soorten koudemiddel R22 (circa 12 kg), R134A (circa 1220 kg) en R410A (circa 43 kg) in de installatiegebonden koelmachines (UV) en R22 (circa 15 kg), R407c (circa 110 kg) en R410A (circa 52 kg) in de overige niet-installatiegebonden koelmachines. De grootste hoeveelheid koudemiddel (type R134A) bevindt zich in de koelmachines welke zijn opgesteld in gebouw 4. Dit betreft een hoeveelheid van in totaal circa 1140 kg. Jaarlijks worden op alle koelmachines lekdichtheidsmetingen uitgevoerd.

De samenstelling van de rookgassen, geproduceerd door de noodstroomdieselaggregaten, wordt periodiek gemeten. Het CO-gehalte is de belangrijkste parameter. Een noodstroomaggregaat moet zodanig zijn afgesteld en worden onderhouden, dat de concentratie van koolmonoxide in de uitgeworpen gassen, gemeten bij een warme motor, niet meer bedraagt dan de toegestane normen.

Tenslotte wordt een geringe hoeveelheid ammoniak en een zeer geringe hoeveelheid hydrazine in de lucht geloosd. De emissie vindt plaats via de ontluchtingen van de voedingswaterontgasser, de condensaatverzamel-tank en de condensorafzuiging van het conventioneel systeem.

De emissie van hydrazine en ammoniak is bepaald aan de hand van metingen aan de emissiepunten in combinatie met berekende afgasdebieten (zie tabel 13.2.1).

Tabel 13.2.1/1 Resultaten van emissiemetingen voor wat betreft ammoniak (NH₃) en hydrazine (N₂H₄) (2010)

	Voedingswater-ontgasser		Condensaat-verzameltank		Condensor-afzuiging	
	NH ₃	N ₂ H ₄	NH ₃	N ₂ H ₄	NH ₃	N ₂ H ₄
vracht (g.h ⁻¹)	69	1,2	31	< 0,1	22	0,4
Normwaarde zoals opgenomen in de NeR	klasse		grensmassastroom (g.h ⁻¹)			
hydrazine	MVP2		2,5			
ammoniak	gA.3		150			

13.2.2 Bodem

Ter verzekering van de kwaliteit van de bodem binnen de inrichting is in het kader van de BodemSanering in gebruik zijnde Bedrijfsterreinen een zogenaamd Nul-situatie bodemonderzoek uitgevoerd.

Er zijn geen milieueffecten op de bodem door reguliere activiteiten.

Door incidenten kunnen de volgende milieueffecten optreden:

- 1 Verontreiniging van bodem en grondwater door bluswater en door procesmedia zoals chemicaliën (zoutzuur, zwavelzuur, natronloog, hydrazine en chloorbleekloog), dieselolie en smeerolie. N.B.: Polychloorbifenylnyl (PCB)- en PCB-achtige transformatorolie wordt niet gebruikt.
- 2 Uitdroging ten gevolge van onttrekking van grondwater (in ongevalsituaties);

Ad 1.

Om een verwaarloosbaar bodemrisico te bereiken (uitgangspunt Nederlandse Richtlijn Bodembescherming) is op alle plaatsen waar schadelijke stoffen in de bodem kunnen lekken, gebruik gemaakt van vloeistofkerend materiaal of zijn er lekbakconstructies. Ook wordt gebruik gemaakt van dubbelwandige tanks. De tanks voldoen qua bestendigheid tegen de erin opgeslagen vloeistof, constructie-eisen voor fundering, aangesloten leidingen, mangat, niveaumeting en opvangvolume aan de van toepassing zijnde regelgeving. De tanks worden periodiek gecontroleerd volgens het Inspectieprogramma Bovengrondse Opslagtanks. Binnen de inrichting zijn geen ondergrondse opslagtanks aanwezig.

Indien onverhoopt bodem- of grondwaterverontreiniging optreedt, zullen in overleg met het bevoegd gezag maatregelen worden getroffen.

Alle leidingen waardoor schadelijke stoffen worden getransporteerd, zijn beschermd tegen uitwendige aantasting. De ondergrondse leidingen zijn met asfaltbitumen of polytheen bekleed.

Ad 2.

Het reserve noodkoelwatersysteem (VE) kan in noodsituaties door middel van diepwell-bronnen grondwater onttrekken. Het grondwater wordt onttrokken uit de tweede watervoerende laag. De in 1993 opgestelde MER en onderliggende documentatie naar aanleiding van voorgestane modificaties hebben aangetoond dat deze wijze van grondwateronttrekking geen noemenswaardige negatieve milieueffecten heeft.

13.2.3 Oppervlaktewater

Directe lozingen

Het koelwater en bedrijfswater van de KCB wordt geloosd in de Westerschelde. Deze lozing is vergund ingevolge de Waterwet en wijzigt niet door de onderhavige aanvraag. De vergunning bevat onder meer voorschriften voor de maximaal toegestane geloosde warmtevracht en toegestane additieven om de goede werking van het koelwatersysteem zeker te stellen.

Indirecte lozingen

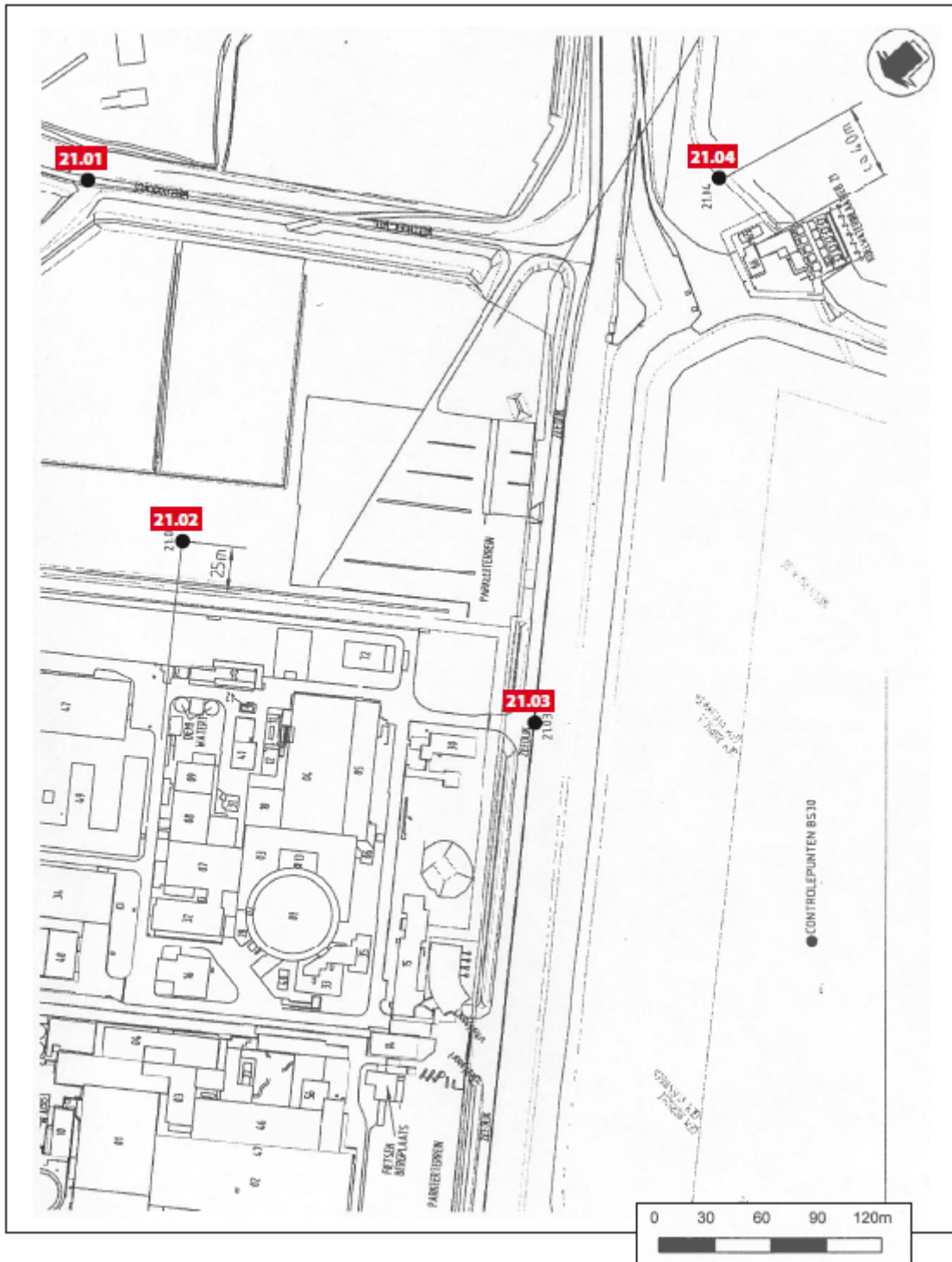
Het lozen van afvalwater op het persriool van de gemeente Borsele is onder voorwaarden krachtens de Algemene Plaatselijke Verordening toegestaan. De beschikking bevat onder meer voorschriften voor het lozen van sanitair afvalwater afkomstig van de kantoorgebouwen, douches, kantine en verschillende werkplaatsen (timmerwerkplaats-, mechanische en elektrische werkplaatsen), huishoudelijk afvalwater van de kantine en afvalwater van de eerder genoemde werkplaatsen.

13.2.4 **Geluid**

De inrichting produceert geluid. De maximaal vergunde waarden sluiten aan op de eisen die ten behoeve van de geluidzonering voor het gehele industrieterrein Vlissingen-Oost aan de aldaar gevestigde bedrijven zijn gesteld. Het geproduceerde geluid wordt periodiek gemeten. Voor de gehele inrichting wordt een systeem van meetpunten gehanteerd, gelegen buiten de terreingrens, waarvoor afhankelijk van de plaats en de beoordelingsperiode, zogenaamde equivalente geluidsniveaus zijn vastgesteld (zie figuur 13.2.4/1). Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen normale werkzaamheden en bijzondere bedrijfsomstandigheden. Onder het laatste wordt bijvoorbeeld verstaan: het in en uit bedrijf stellen van de centrale en het proefdraaien van de noodstroomdiesels. In die gevallen is een hoger equivalent geluidsniveau toegestaan. Voor de tijdstippen, waarop de noodstroomdiesels mogen draaien, zijn extra eisen gesteld.

Volgens de voorwaarden in de vergunning worden op het terrein van de inrichting metingen gedaan aan de belangrijkste bronnen van geluidhinder om hun individuele bijdrage vast te stellen. Over de methode, de frequentie etc. wordt gerapporteerd aan de ANVS.

Buiten het complex van de KCB worden elke vijf jaar op bovengenoemde meetpunten door een extern onderzoeksbureau metingen verricht.



Figuur 13.2.4/1 Overzicht meetpunten

13.2.5 Afvalstoffen

Op de KCB ontstaan diverse soorten afvalstoffen. Het beleid is er primair op gericht de hoeveelheid afval te reduceren en voorts afvalstoffen te scheiden aan de bron en verder gescheiden te bewaren en af te voeren. Op verschillende locaties op het terrein zijn milieustraten ingericht (zie figuur 13.2.5/1). Gevaarlijke afvalstoffen worden tijdelijk opgeslagen in gebouw 60. Er worden op het KCB-terrein geen afvalstoffen bewerkt voor direct hergebruik. Van het afgevoerde afval wordt zoals wettelijk vereist een register bijgehouden. Het beheer van alle afvalstoffen is beschreven in het Afvalstoffenbeheersplan EPZ.



Figuur 13.2.5/1 Overzicht van de diverse milieustraten op het KCB-terrein

Een belangrijk deel van het gevaarlijk afval bestaat uit hydrazinehoudend afvalwater (afgetapt systeemwater tijdens stops en regenerant van het spuumengbedfilter). Het water wordt ter plaatse opgevangen in mobiele tanks en per as afgevoerd naar een externe verwerker. De afgevoerde jaarlijkse hoeveelheid is afhankelijk van het aantal regeneraties van het mengbedfilter en het aantal en de omvang van de stops.

13.2.6 Energieverbruik

Het karakteristiek energieverbruik ten behoeve van kantoren en werkplaatsen over de periode 2012 - 2014 is weergegeven in tabel 13.2.6/1. In het Milieujaarplan zijn doelstellingen ten aanzien van het huishoudelijk energieverbruik vastgelegd.

Tabel 13.2.6/1 Energieverbruik ten behoeve van kantoren en werkplaatsen

Jaar	elektriciteit (MWh)	aardgas (m ³)
2012	2904	105635
2013	3153	124285
2014	2639	85380

In tabel 13.2.6/2 is het energieverbruik voor de interne processen, het zogenaamde eigen gebruik, opgenomen. De grootste verbruikers hierin zijn de hoofdkoelwaterpompen (vermogen circa 4,5 MW), de hoofdkoelmiddelpompen (vermogen circa 15,4 MW) en de hoofdvoedingswaterpompen (vermogen circa 7 MW). Het verbruik is sterk afhankelijk van de bedrijfstoestand. Bij vermogensbedrijf (vullast) zijn alle eerder genoemde gebruikers altijd volledig in bedrijf.

Tabel 13.2.6/2 Energieverbruik ten behoeve van interne processen

Jaar	elektriciteit (GWh)
2012	220
2013	180
2014	230

13.2.7 Overige

Binnen de inrichting wordt gebruik gemaakt van de volgende bulkchemicaliën oftewel gevaarlijke (vloeistoffen) (de aangegeven tankvolumegroottes zijn een indicatie voor de maximaal op het KCB-terrein aanwezige hoeveelheid voorradige stoffen):

- (Vloeistoffen)

1. Zoutzuur (ADR-klasse 8) als regeneratievloeistof voor de demi-installatie en het mengbed van het stoomgeneratorspuisysteem. Het zoutzuur met een concentratie van circa 33 gewichtsprocent is opgeslagen in een tank (26 m³) welke is voorzien van een lekbak en lekdetectiesysteem.
2. Natriumhydroxide (ADR-klasse 8) als regeneratievloeistof voor de demi-installatie en het mengbed van het stoomgeneratorspuisysteem. Het natriumhydroxide met een concentratie van circa 30% gewichtsprocent is opgeslagen in een tank (26 m³) welke is voorzien van een lekbak en lekdetectiesysteem.
3. Hydrazine (ADR-klasse 6.1) als zuurstofbindend medium en alkaliseringsmiddel voor de secundaire systemen. De hydrazine in een concentratie kleiner dan 5 gewichtsprocent is opgeslagen in een tank (9 m³) welke is voorzien van een lekbak en lekdetectiesysteem.
4. Chloorbleekloog (ADR-klasse 8) om de aangroei van waterorganismen in het nood- en nevenkoelwatersysteem te voorkomen. De chloorbleekloog met een concentratie van circa 15 gewichtsprocent is opgeslagen in een tank (14 m³) welke is voorzien van een lekbak en lekdetectiesysteem.

5. Dieselolie (ADR-klasse 3) als brandstof voor de noodstroomaggregaten. De dieselolie is opgeslagen in vast opgestelde dag- en voorraadtanks welke allen zijn voorzien van een lekbak en lekdetectiesysteem. De totale hoeveelheid opgeslagen dieselolie ten behoeve van de noodstroomaggregaten bedraagt circa 250 m³.
Ten behoeve van EPZ-voertuigen (beveiliging, brandweer) is een dubbelwandige voorraadtank van 700 liter met dieselolie aanwezig.
Als accident maatregel zijn twee aanhangers met pompen en een dubbelwandige voorraadtank van elk 1 m³ beschikbaar. Deze aanhangers kunnen gebruikt worden voor het bijvullen van de (dag)tanks van de noodstroomaggregaten en voor het overpompen van dieselolie tussen verschillende voorraadtanks. Additioneel zijn ten behoeve van aandrijving van mobiele werktuigen nog circa 50 liter dieselolie en 100 liter benzine opgeslagen in een brandwerende kast in gebouw 34.
 6. Nalco (circa 0,5 m³) (ADR-klasse 8) als corrosieremmend middel in het conventioneel tussenkoelwatersysteem.
 7. In gebouw 47 zijn verschillende vloeistoffen, zoals ionenwisselaar, verfproducten, verfverdunder en oplosmiddelen opgeslagen (circa 3600 kg van stoffen vallende onder ADR-klasse 3; circa 450 kg ADR-klasse 8; circa 750 kg ADR-klasse 9 en circa 2500 kg ionenwisselaar). Het gebouw is onderverdeeld in compartimenten en voorzien van ventilatiemogelijkheden.
 8. Ijzersulfaat voor de bescherming van de met zeewater doorstroomde koper-nikkelkoelers. Hiervoor wordt ijzersulfaat in oplossing in het nevenkoelwatersysteem gedoseerd. Het ijzersulfaat in vaste vorm is opgeslagen in gebouw 04 of in vloeibare vorm met een concentratie van circa 33 gewichtsprocent in een tank (5 m³) in gebouw 04/10 (voorraad circa 1650 kg ijzersulfaat).
 9. Filmvormende amines als conserveringsmiddel voor secundaire systemen. De filmvormende amines zijn een mengsel van lange koolstofverbindingen C-16 en C-18. Ten behoeve van dosering vindt alleen tijdelijke opslag plaats.
- Oliën en smeermiddelen
1. Turbineolie ten behoeve van smering en afdichting van turbine- en generatorlagers, aandrijving van de torninrichting en regeling van de turbine. De turbineolie is opgeslagen in een tank (50 m³) welke is voorzien van een lekbak. De olie wordt continu rondgepompt in een gesloten systeem van leidingen, pompen en koelers.
 2. Dichtingsolie voor de generator om te voorkomen dat waterstof, dat voor de koeling van de generator wordt gebruikt, via de asafdichtingen naar de omgeving kan lekken. De olie is opgeslagen in een tank (1,5 m³) en circuleert in een gesloten systeem van leidingen, filters en pompen. De tank is niet voorzien van een lekbak, maar van een opvang- en afvoergoot in de vloer. Eventuele lekolie wordt opgevangen in een stalen vat.
 3. Transformatorolie ten behoeve van de koeling van de transformatoren, waarbij de olie continu wordt rondgepompt in een gesloten systeem van leidingen, pompen en koelers. Elke transformator is voorzien van een lekbak. De totale hoeveelheid olie voor alle hoog- en laagspanningstransformatoren bedraagt circa 240 m³.
 4. Op het KCB-terrein bevinden zich met olie gevulde hoogspanningsschakelaars. De totale olie-inhoud bedraagt circa 1000 liter. De schakelaars bevinden zich boven vloeistofkerende vloeren.
 5. In gebouw 70 wordt alle afgewerkte olie in een tank (2 m³) opgeslagen. Deze tank is voorzien van een lekbak. Daarnaast wordt maximaal 500 kg afgewerkte vetten opgeslagen.
 6. In gebouw 70 zijn ook smeermiddelen, oliën (circa 5 m³) en vetten (circa 600 kg), in vaten en jerrycans opgeslagen. Deze vaten en jerrycans staan boven lekbakken opgesteld.
 7. In het koelwaterinlaatgebouw is een gebruiksvorraad smeermiddelen opgeslagen. Het betreft circa 600 liter olie en 250 kg vet. De vloer van de desbetreffende ruimte is als lekbak uitgerust.

- Gassen

1. Voor algemene toepassingen en ten behoeve van processystemen (nucleair en conventioneel) worden verschillende gassen gebruikt. Het betreft acetyleen, argon, helium, kooldioxide, protegon, (vloeibare) stikstof, waterstof, zuurstof en diverse meng- en ijk-gassen.
2. De gassen in gasflessen worden, behoudens lokale werkvoorraden, opgeslagen in gebouw 26. Vanuit dit gebouw worden de gassen via een vast leidingnet naar de verbruikspunten gedistribueerd. Karakteristieke voorraden van gasflessen zijn (verdeeld over cilinders met maximale inhoud van 10 of 50 liter):

Acetyleen	240 liter
Argon	3230 liter
Helium	370 liter
Lucht	100 liter
Methaan	130 liter
Protegon	150 liter
Stikstof	430 liter
Waterstof	4100 liter
Zuurstof	1770 liter
3. De voorraad vloeibare stikstof is opgeslagen in twee tanks op het KCB-terrein (2 x 1,5 m³). Vanuit de tanks wordt de vloeibare stikstof via een vast leidingnet naar de verbruikspunten gedistribueerd.
4. In diverse ruimten in de gebouwen 03, 05 10 en 21 zijn cilinders met het blusgas inergen opgeslagen. De karakteristieke voorraad inergen is 13040 liter (verdeeld over cilinders met maximale inhoud van 80 liter). In gebouw 04 is additioneel nog circa 120 kg CO₂ ten behoeve van het CO₂-blussysteem (zie §6.3.8) in gasflessen opgeslagen

Naast bovengenoemde bulkchemicaliën worden nog andere stoffen toegepast met mogelijke milieugevolgen. Het betreft het gebruik van stoffen in de volgende systemen, op locaties en ten behoeve van nevenactiviteiten:

 - *Accu's en acculaadplaatsen;*

In diverse ruimten in de gebouwen 05, 15, 33, 34, 40 en 72 staan accu's opgesteld. Deze ruimten zijn voorzien van vloeistofkerende vloeren. De acculaadplaatsen worden op natuurlijke wijze geventileerd om eventueel vrijkomende waterstofgassen te kunnen afvoeren.

 - *Laboratoria en chemicaliënopslag;*

In gebouw 3 en gebouw 08 bevinden zich laboratoria welke zijn uitgerust voor het werken met chemicaliën. Deze laboratoria zijn uitgerust met voorzieningen zoals, zuurkasten, absorptiemiddelen, brandblusmiddelen en persoonlijke beschermingsmiddelen. Het laboratorium in gebouw 03 is bovendien geschikt voor het werken met radioactieve stoffen. In gebouw 15 is een laboratorium voor ongevalssituaties ingericht. In alle laboratoria bevinden zich voorraden chemicaliën (in brandwerende veiligheidskasten welke voor wat eisen en de maximaal op te slaan hoeveelheden gevaarlijke stoffen voldoen aan bijlage E van PGS 15) en gasflessen. De algemene voorraad chemicaliën is gecompartmenteerd opgeslagen in een speciaal daarvoor ingerichte ruimte in gebouw 8.

 - *Timmerwerkplaats;*

(Machinale) houtbewerking vindt plaats in de timmerwerkplaats (gebouw 16). De houtbewerkingsapparaten zijn voorzien van afzuigpunten waarmee de houtmot naar de houtmotopslag wordt afgevoerd. De afgezogen lucht wordt naar de buitenlucht afgevoerd en voldoet aan de normen volgens de NeR.

In de timmerwerkplaats bevindt zich een brandwerende veiligheidskast, welke voor wat betreft eisen en de maximaal op te slaan hoeveelheden gevaarlijke stoffen voldoet aan bijlage E van PGS 15, met een beperkte hoeveelheid gevaarlijke stoffen ten behoeve van civiele onderhoudswerkzaamheden.

- *Schilderwerkplaats;*
In gebouw 47 is een werkplaats ten behoeve van schilderwerkzaamheden, waaronder een spuitcabine, ingericht. Deze ruimten zijn voorzien van een vloeistofdichte vloer en afzuiging.
- *Metaalwerkplaats:*
In de metaalwerkplaats (gebouw 7) wordt onderhoud verricht aan mechanische componenten en vinden boor-, las-, straal- en reinigingswerkzaamheden plaats. De ruimtes ten behoeve van laswerkzaamheden zijn voorzien van eigen gefilterde lasrookafzuiging. De afgezogen lucht wordt naar de buitenlucht afgevoerd. De ruimte ten behoeve van het stralen is voorzien van een stofafzuiginstallatie. De afgezogen lucht wordt naar de buitenlucht afgevoerd en voldoet aan de normen volgens de NeR.
Het reinigen (ontvetten) vindt plaats in een ruimte met lekbak en vloeistofkerende vloer. De vrijkomende afvalstoffen (filters, straalmiddel, afgewerkte ontvettingsvloeistof en absorptiemiddel) wordt als gevaarlijk afval afgevoerd.
In de metaalwerkplaats bevindt zich een brandwerende veiligheidskast, welke voor wat betreft eisen en de maximaal op te slaan hoeveelheden gevaarlijke stoffen voldoet aan bijlage E van PGS 15, met een beperkte hoeveelheid gevaarlijke stoffen ten behoeve van bovenstaande werkzaamheden.
- *Elektrische werkplaatsen;*
In de elektrische werkplaatsen (gebouw 7) worden werkzaamheden verricht aan elektrische componenten, zowel hoog- als laagspanningscomponenten. Bij soldeerwerkzaamheden worden de soldeerdampen afgezogen en via een filter naar de buitenlucht afgevoerd.
- *Cementeerinrichting;*
Vloeibaar radioactief afval kan in een ruimte in gebouw 3 worden gecementeerd. Door het mengen van het vloeibaar afval met cementpoeder worden de radioactieve stoffen in de cementmatrix geïmmobiliseerd.
Ten behoeve van de cementeerinrichting is een cementsilo (50 m³) tegen de buitenzijde van het reactorgebouw geplaatst. De silo is voorzien van een overvulbeveiliging en een ontluchtingssysteem met doekfilter en trilapparaat. Het filter voldoet aan de normen volgens de NeR.
- *Afspuitplaats;*
In gebouw 70 is een in pandige afspuitplaats ingericht voor het reinigen van apparaten, machines en machineonderdelen. De afspuitplaats wordt incidenteel gebruikt (geen duurbelasting). De afspuitplaats heeft een vloeistofkerende vloer en is voorzien van een afvoerput met slib- en olieafscheider. De afwatering vindt plaats op het conventioneel gebouwontwateringssysteem. De slib- en olieafscheider worden periodiek gecontroleerd en de inhoud wordt als afval afgevoerd. Bij het reinigen (hoge-druk-reiniger; stoom) worden geen additieven gebruikt.
- *Reproductie;*
In gebouw 49 is een reproductieafdeling gevestigd. De ruimte beschikt over een afzuigpunt om de eventuele dampen naar de buitenlucht af te voeren.
- *Keuken en afwasruimte;*
In gebouw 15 zijn de bedrijfskantine en bijbehorende keuken en afwasruimte ondergebracht. De keuken en afwasruimte zijn voorzien van een vloeistofdichte vloer. De afwatering via een vetafscheider vindt plaats op het bedrijfsrioleringsysteem wat aansluit op het persriool van de gemeente Borssele. De keuken is voorzien van een mechanische afzuiging met vetfilters. De afgezogen lucht wordt naar de buitenlucht afgevoerd.
- *Brandbestrijding;*
De brandweerkazerne (gebouw 48) dient als stalling voor verschillende brandweervoertuigen. De kazerne is voorzien van een vloeistofkerende vloer. De afwatering via een olieafscheider vindt plaats op het bedrijfsrioleringsysteem.
In de brandweerkazerne is ten behoeve van oefeningen een kleine hoeveelheid rookmiddel (minder dan 10 liter) aanwezig.
Op het KCB-terrein bevinden zich verschillende voorraden (onder andere in stalen vaten van 60 liter) schuimvormend middel. Het betreft een totale hoeveelheid van circa 1000 liter.

Dit middel komt uitsluitend vrij in geval van brandbestrijding; beproeving van de installaties waarin het schuimvormend middel wordt toegepast gebeurt met water.

- *Gevaarlijke stoffen opslag koelwaterinlaat;*
In twee ruimten in het koelwaterinlaatgebouw worden gevaarlijke stoffen (in brandwerende veiligheidskasten welke voor wat betreft eisen en de maximaal op te slaan hoeveelheden gevaarlijke stoffen voldoen aan bijlage E van PGS 15) ten behoeve van mechanische en civiele onderhoudswerkzaamheden opgeslagen.
- *Boorzuuropslag.*
In gebouw 33 is een hoeveelheid van circa 750 kg vast boorzuur in een stalen kast opgeslagen. Dit boorzuur wordt uitsluitend in ongevalsituaties gebruikt.
- *Opslag werkvoorraad chemicaliën gecontroleerd gebied*
In twee ruimtes in het gecontroleerd gebied, de mechanische werkplaats en de decontaminatieruimte, worden beperkte hoeveelheden chemische stoffen opgeslagen in brandwerende veiligheidskasten. De kasten voldoen voor wat betreft eisen en de maximaal op te slaan hoeveelheden aan bijlage E van PGS 15.
- *Opslag coatings gecontroleerd gebied*
In gebouw 02 wordt in twee stalen kasten een beperkte hoeveelheid coating opgeslagen. Het betreft in hoofdzaak watergedragen coating. De hoeveelheden zijn lager dan de vrijstellingsgrenzen genoemd in tabel 1.2 van PGS 15.
- *Opslag boorzuur gecontroleerd gebied*
In gebouw 03 is een hoeveelheid van circa 750 kg vast boorzuur in een stalen kast opgeslagen. Dit boorzuur wordt uitsluitend in ongevalsituaties gebruikt.

In de bovenstaande beschrijving zijn gebouwen/ruimten genoemd die in de huidige situatie van toepassing zijn. Deze gebouwen/ruimten kunnen in de loop van de bedrijfsvoering wijzigen. Bij verplaatsingen zullen de dan geldende eisen van toepassing zijn voor de toekomstige gebouwen/ruimtes.

INHOUDSOPGAVE

14. RADIOACTIEF AFVAL	14-2
14.1 BRONNEN VAN RADIOACTIEF AFVAL	14-2
14.1.1 Inventaris van de reactorkern	14-3
14.1.2 Activiteit van het hoofdkoelmiddel	14-6
14.1.3 Activiteit in de lucht van de gebouwen.....	14-8
14.2 BEHEERSING EN BEHANDELING VAN VLOEIBAAR RADIOAFVAL	14-11
14.2.1 Uitgangspunten.....	14-11
14.2.2 Lozing van vloeibaar radioactief afval.....	14-11
14.3 BEHEERSING EN BEHANDELING VAN GASVORMIG RADIOACTIEF AFVAL 14-13	
14.3.1 Uitgangspunten.....	14-13
14.3.2 Lozing van gasvormig radioactief afval.....	14-13
14.4 BEHEERSING EN BEHANDELING VAN OVERIG RADIOACTIEF AFVAL	14-15
14.4.1 Uitgangspunten.....	14-15
14.4.2 Afgifte van overig radioactief afval.....	14-15
14.5 VERGELIJKING VAN DE LOZINGEN MET DE VERGUNNINGSLIMIETEN	14-17
14.6 ACTIVITEITSBEWAKING	14-18
14.6.1 Bewaking van de activiteit in gebouwen en systemen	14-18
14.6.2 Bewaking van de afgegeven activiteit.....	14-18

14. RADIOACTIEF AFVAL

In dit hoofdstuk wordt de oorsprong, de beheersing en de behandeling van het in de kernenergiecentrale geproduceerde radioactief afval behandeld. In de eerste paragraaf worden de bronnen van radioactief afval besproken. In de tweede tot en met de vierde paragraaf de beheersing en de behandeling van respectievelijk het vloeibare, het gasvormige en het vaste afval en de daarbij gebruikte systemen, welke beschreven zijn in hoofdstuk 6. In de vijfde paragraaf wordt de vergelijking gemaakt tussen de ervaring met de jaarlijkse lozingen en de vergunningslimieten. In de zesde paragraaf wordt de bewaking van de radioactiviteit behandeld.

Voor ongevalsituaties en de daarbij verwachte vrijkomende hoeveelheden en soorten radioactief afval wordt verwezen naar hoofdstuk 7. In hoofdstuk 15 wordt de radioactief afvalbehandeling tijdens de ontmantelingsfase behandeld.

In dit hoofdstuk worden verscheidene lozingsgegevens voor zowel vloeibaar, gasvormig als vast afval gepresenteerd. Indien de lozingsgegevens direct voor het bepalen van de maximale individuele dosis (hoofdstuk 11) gebruikt zijn, dan zijn deze gegevens gebaseerd op de lozingen gemeten in de periode 2003-2012. Deze lozingen zijn voor de huidige bedrijfsvoering representatief. Daar waar relevant is de invloed van de mogelijke inzet van c-ERU en MOX op de lozingsgegevens beschreven.

14.1 BRONNEN VAN RADIOACTIEF AFVAL

De radioactieve stoffen die afgevoerd worden als radioactief afval hebben hun oorsprong in en rond het primair systeem. De verschillende wijzen van ontstaan en de hoeveelheden van de verschillende nucliden worden hier besproken. De bronnen van radioactiviteit en de verwerking van het daaruit voortkomende afval zijn schematisch weergegeven in het activiteitenstroomschema in figuur 14.1/1.

De grootste activiteit bevindt zich uiteraard in de reactorkern (zie paragraaf 14.1.1). Tevens bevindt zich in het hoofdkoelmiddel een hoeveelheid splijttingsproducten, geactiveerde corrosieproducten en verontreinigingen (zie paragraaf 14.1.2). Daarnaast komen radioactieve verontreinigingen van de lucht in de reactorgebouwen voor (zie paragraaf 14.1.3).

Bij het reinigen van het hoofdkoelmiddel (door de TC en TD systemen) ontstaan radioactieve afvalstoffen, zowel gasvormig, vloeibaar (verdampconcentraat) als vast (ionenwisselaars). De gasvormige worden afgevoerd door het TS-systeem (zie paragraaf 6.10.2), de vloeibare en vaste afvalstoffen worden verwerkt door het TT-systeem (zie paragraaf 6.10.3).

Afvalwater, afkomstig vanuit onder andere laboratoria, de gebouwontwatering en decontaminatie wordt verzameld en verwerkt in het TR-systeem (zie paragraaf 6.10.1). Hierin wordt het water zodanig gereinigd dat het kan worden geloosd op het oppervlaktewater.

De ruimteventilatie TL (zie paragraaf 6.3.2) zorgt voor het op onderdruk houden van de ruimten waardoor een flow in de richting van de onderdruk ontstaat en gaat op deze wijze verspreiding van radioactieve stoffen door de lucht tegen. De afgezogen lucht wordt door middel van filtratie ontdaan van radioactieve aërosolen en jodium.

14.1.1 Inventaris van de reactorkern

De grootste hoeveelheid in de installatie aanwezige radioactiviteit bevindt zich in de reactorkern. De gebruikte splijtstofelementen vormen daardoor een bron van radioactief afval met de hoogste activiteit.

De onbestraalde splijtstof bevat relatief gezien slechts een geringe hoeveelheid radioactiviteit. Tijdens het bedrijf van de reactor wordt in de splijtstof een grote hoeveelheid radioactiviteit gevormd. Het betreft splijtingsproducten met massagetallen onder circa 160 en activeringsproducten, die door neutroneninvangst gevormd worden, met massagetallen boven circa 230. Deze producten blijven in principe binnen de splijtstofelementen opgesloten. Daarnaast bevinden zich in de constructiematerialen van de kern activeringsproducten van in deze constructiematerialen aanwezige stoffen.

In tabel 14.1/1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste nucliden (meer dan 99% van de doses en risico's veroorzakend) die aanwezig zijn in de in bedrijf zijnde ENU, c-ERU en MOX evenwichtskernen met een gemiddelde opbrand. De activiteit direct na afschakelen is gegeven. De kerninventaris is berekend met het computerprogramma ORIGEN.

Tabel 14.1/1 Activiteit van de kerninventaris aan het einde van de cyclus (EOC) en na 0 dagen verval

Nuclide	ENU	c-ERU	MOX (40%)
KR- 83M	1,55E+17	1,57E+17	1,36E+17
KR- 85M	3,74E+17	3,82E+17	3,2E+17
KR- 85	1,81E+16	1,95E+16	1,61E+16
KR- 87	6,41E+17	6,54E+17	5,42E+17
KR- 88	8,70E+17	8,88E+17	7,33E+17
RB- 86	2,68E+15	2,84E+15	2,36E+15
RB- 88	8,95E+17	9,12E+17	7,56E+17
RB- 89	1,22E+18	1,25E+18	1,02E+18
SR- 89	1,29E+18	1,32E+18	1,07E+18
SR- 90	1,33E+17	1,44E+17	1,16E+17
SR- 91	1,58E+18	1,62E+18	1,35E+18
SR- 92	1,68E+18	1,71E+18	1,47E+18
SR- 93	1,86E +18	1,88E+18	1,67E+18
Y - 90M	1,12E+14	1,12E+14	9,41E+13
Y – 90	1,39E+17	1,50E+17	1,21E+17
Y - 91M	8,10E+17	8,25E+17	6,92E+17
Y – 91	1,70E+18	1,73E+18	1,44E+18
Y – 92	1,69E+18	1,71E+18	1,48E+18
Y – 93	1,89E+18	1,92E+18	1,70E+18
ZR- 89	7,68E+10	9,66E+10	6,34E+10
ZR- 93	3,06E+12	3,29E+12	2,86E+12
ZR- 95	2,27E+18	2,29E+18	2,09E+18
ZR- 97	2,12E+18	2,14E+18	2,02E+18
NB- 93M	2,23E+11	2,53E+11	2,22E+11
NB- 94M	1,95E+12	1,97E+12	2,01E+12
NB- 94	3,71E+08	3,98E+08	4,11E+08
NB- 95M	2,52E+16	2,54E+16	2,32E+16
NB- 95	2,29E+18	2,32E+18	2,11E+18
NB- 97	2,13E+18	2,15E+18	2,03E+18
MO- 99	2,40E+18	2,41E+18	2,33E+18

MO-101	2,22E+18	2,22E+18	2,21E+18
TC- 99M	2,10E+18	2,11E+18	2,04E+18
TC- 99	2,30E+13	2,48E+13	2,33E+13
TC-101	2,22E+18	2,22E+18	2,21E+18
RU-103	1,92E+18	1,90E+18	2,08E+18
RU-105	1,32E+18	1,29E+18	1,53E+18
RU-106	6,88E+17	6,86E+17	9,07E+17
RH-103M	1,92E+18	1,90E+18	2,08E+18
RH-105	1,25E+18	1,23E+18	1,47E+18
AG-108M	2,81E+09	3,20E+09	5,59E+09
AG-110M	4,70E+15	4,36E+15	7,16E+15
AG-110	1,53E+17	1,39E+17	2,16E+17
AG-111	7,00E+16	6,81E+16	8,72E+16
SB-124	1,25E+15	1,27E+15	1,59E+15
SB-125	1,97E+16	2,01E+16	2,64E+16
SB-126	9,95E+14	9,76E+14	1,15E+15
SB-127	1,14E+17	1,12E+17	1,31E+17
SB-128L	170E+16	1,67E+16	1,86E+16
SB-129	3,66E+17	3,64E+17	3,83E+17
SB-130L	4,45E+17	4,46E+17	4,41E+17
SB-131	1,06E+18	1,06E+18	1,04E+18
TE-125M	4,17E+15	4,27E+15	5,66E+15
TE-127M	8,74E+15	9,06E+15	1,2E+16
TE-127	1,02E+17	1,01E+17	1,19E+17
TE-129M	6,67E+16	6,63E+16	6,98E+16
TE-129	3,93E+17	3,91E+17	4,13E+17
TE-131M	1,83E+17	1,82E+17	1,88E+17
TE-131	1,13E+18	1,13E+18	1,13E+18
TE-132	1,78E+18	1,78E+18	1,75E+18
TE-133M	1,33E+18	1,34E+18	1,3E+18
TE-133	1,28E+18	1,28E+18	1,23E+18
TE-134	2,28E+18	2,30E+18	2,17E+18
I -129	5,19E+10	5,53E+10	5,87E+10
I -130	3,82E+16	3,76E+16	3,66E+16
I -131	1,28E+18	1,28E+18	1,28E+18
I -132	1,81E+18	1,81E+18	1,78E+18
I -133	2,57E+18	2,58E+18	2,51E+18
I -134	2,79E+18	2,81E+18	2,71E+18
I -135	2,46E+18	2,47E+18	2,41E+18
XE-131M	1,38E+16	1,38E+16	1,38E+16
XE-133M	7,77E+16	7,80E+16	7,63E+16
XE-133	2,60E+18	2,60E+18	2,54E+18
XE-135M	5,36E+17	5,36E+17	5,39E+17
XE-135	5,98E+17	6,48E+17	7,68E+17
XE-138	2,26E+18	2,28E+18	2,16E+18
CS-134M	6,39E+16	6,41E+16	6,05E+16
CS-134	2,60E+17	2,73E+17	2,62E+17
CS-135	6,46E+11	7,43E+11	8,38E+11
CS-136	6,06E+16	6,54E+16	7,04E+16
CS-137	1,83E+17	1,95E+17	1,86E+17
CS-138	2,47E+18	2,48E+18	2,37E+18

BA-139	2,30E+18	2,32E+18	2,18E+18
BA-140	2,26E+18	2,27E+18	2,15E+18
LA-140	2,34E+18	2,35E+18	2,23E+18
LA-141	2,08E+18	2,09E+18	1,99E+18
LA-142	2,03E+18	2,04E+18	1,94E+18
CE-141	2,16E+18	2,17E+18	2,06E+18
CE-143	2,00E+18	2,02E+18	1,87E+18
CE-144	1,73E+18	1,78E+18	1,60E+18
PR-143	2,01E+18	2,02E+18	1,87E+18
PR-145	1,36E+18	1,37E+18	1,29E+18
ND-147	8,48E+17	8,53E+17	8,22E+17
PM-147	2,79E+17	3,15E+17	2,79E+17
PM-148M	4,58E+16	4,52E+16	5,19E+16
PM-148	2,23E+17	2,09E+17	2,15E+17
PM-149	6,79E+17	6,62E+17	6,58E+17
PM-151	2,40E+17	2,39E+17	2,54E+17
EU-152M	1,22E+14	1,35E+14	1,89E+14
EU-152	1,63E+12	2,02E+12	5,22E+12
EU-154	1,43E+16	1,52E+16	1,66E+16
EU-155	6,54E+15	6,98E+15	8,90E+15
EU-156	2,90E+17	2,85E+17	3,04E+17
PO-210	1,00E+03	1,23E+04	9,49E+02
RA-226	3,52E+04	2,06E+05	2,99E+04
U -234	2,06E+12	1,09E+13	1,57E+12
U -235	3,95E+10	4,52E+10	2,83E+10
U -238	4,50E+11	4,39E+11	4,43E+11
NP-237	4,27E+11	1,32E+12	3,59E+11
NP-238	4,33E+17	1,24E+18	3,47E+17
NP-239	2,33E+19	2,20E+19	2,17E+19
PU-236	3,32E+11	1,19E+12	3,18E+11
PU-238	3,74E+15	1,21E+16	1,69E+16
PU-239	4,53E+14	4,76E+14	9,33E+14
PU-240	6,02E+14	6,11E+14	2,13E+15
PU-241	1,46E+17	1,52E+17	4,50E+17
PU-242	2,71E+12	2,69E+12	1,36E+13
AM-241	1,67E+14	1,86E+14	1,63E+15
AM-242M	5,76E+12	6,49E+12	7,93E+13
AM-242	9,14E+16	9,35E+16	4,00E+17
AM-243	2,71E+13	2,76E+13	1,24E+14
CM-242	5,49E+16	5,69E+16	2,95E+17
CM-243	2,04E+13	2,15E+13	1,50E+14
CM-244	4,14E+15	4,29E+15	2,21E+16
CM-245	3,68E+11	4,06E+11	3,14E+12
CM-246	1,41E+11	1,52E+11	8,23E+11
CM-247	4,93E+05	5,47E+05	3,68E+06
CM-248	1,98E+06	2,27E+06	1,43E+07

14.1.2 Activiteit van het hoofdkoelmiddel

De activiteit van het hoofdkoelmiddel heeft drie verschillende oorzaken:

- activering van het water en de daarin opgeloste stoffen;
- activering van corrosieproducten;
- ontsnapte splijtingsproducten.

Activering van het water en de daarin opgeloste stoffen

Onder invloed van snelle neutronen wordt uit het zuurstofisotoop ^{16}O het stikstofisotoop ^{16}N opgebouwd. Dit stikstofisotoop vervalst met een halveringstijd van 7,13 seconden onder uitzending van zeer harde gammastraling naar het stabiele zuurstofisotoop ^{16}O . Uit de andere aanwezige zuurstofisotopen wordt ook stikstof aangemaakt. De activiteit in het hoofdkoelmiddel die hierdoor wordt veroorzaakt is echter te verwaarlozen. Uit ^{18}O wordt het fluorisotoop ^{18}F gevormd. Dit geeft ook een bijdrage aan de activiteit in het hoofdkoelmiddel. In het water bevindt zich ook een geringe verontreiniging van natrium. Dit veroorzaakt enige ^{24}Na -activiteit.

Afhankelijk van de bedrijfstoestand bevat het primaire water een bepaalde hoeveelheid borium. Voor de inzet van ENU- en (c-)ERU-elementen kan worden volstaan met natuurlijk borium. Natuurlijk borium heeft een ^{10}B -concentratie van 19,78 at.%. Voor de inzet van MOX-elementen kan vanwege de verzwakking van de boorzuurwerkzaamheid niet worden volstaan met natuurlijk borium en dient verrijkt borium aan het primaire water te worden toegevoegd. Het verrijkte borium heeft een ^{10}B -concentratie van tenminste 32 at.%.

Het boriumisotoop ^{10}B valt na invangst van een snel neutron in de atoomkern uiteen in twee α deeltjes en een tritiumkern. Ook door neutroneninvangst in het lithium en deuterium dat in het water aanwezig is, wordt tritium gevormd. Op basis van de halveringstijden van de verschillende nucliden kan gesteld worden dat ten aanzien van de behandeling van radioactief afval als gevolg van activering van het hoofdkoelmiddel alleen de hoeveelheid gevormd tritium van belang is. De totale jaarlijkse productie van tritium is gegeven in tabel 14.1/4.

Activering van corrosieproducten

Door corrosie aan oppervlakken die onderhevig zijn aan een hoge neutronenfluxdichtheid komen radioactieve stoffen in het hoofdkoelmiddel terecht. Ook worden niet-radioactieve vrijgekomen en opgeloste stoffen bij het passeren van de kern geactiveerd. De belangrijkste radioactieve corrosieproducten in het hoofdkoelmiddel zijn gegeven in tabel 14.1/2. Nucliden met een halveringstijd korter dan een 2 uur zijn niet vermeld vanwege hun geringe bijdrage ten aanzien van het radioactieve afval. De tabel is gebaseerd op de gemiddelde massieke activiteit ten gevolge van de activering van de corrosieproducten zoals gemeten in de periode 2003-2012.

Tabel 14.1/2 Massieke activiteit van de corrosieproducten in het hoofdkoelmiddel gemeten in de periode 2003-2012.

Nuclide	Halveringstijd (d)	Massieke activiteit (Bq/Mg)*
⁵¹ Cr	27,7	4,1.10 ⁷
⁵⁴ Mn	312	3,8.10 ⁶
⁵⁶ Mn	0,018	3,7.10 ⁶
⁵⁹ Fe	45	1,6.10 ⁵
⁵⁸ Co	71	9,3.10 ⁶
⁶⁰ Co	1940	1,2.10 ⁷
^{99m} Tc	0,251	2,7.10 ⁶
⁹⁹ Mo	2,8	1,4.10 ⁷
^{110m} Ag	250	2,5.10 ⁶
¹²² Sb	2,7	2,4.10 ⁷
¹²⁴ Sb	60,3	2,5.10 ⁷
Totaal corrosieproducten		1,4.10 ⁸

* Tot op heden is voornamelijk ENU/ERU splijtstof toegepast. Het gebruik van c-ERU en MOX splijtstoffen zal naar verwachting echter niet leiden tot veranderingen in de massieke activiteiten van de corrosieproducten.

Ontsnapte splijtingsproducten

De in de splijtstofelementen van de reactorkern aangemaakte splijtingsproducten worden voor het allergrootste deel door de splijtstof en door de splijtstofomhulling vastgehouden. Als gevolg van twee oorzaken kan een klein deel van de splijtingsproducten in het hoofdkoelmiddel terecht komen:

- één of meerdere splijtstofstaven kunnen door kleine defecten bepaalde hoeveelheden splijtingsproducten doorlaten zonder dat daardoor het normale bedrijf wordt verstoord;
- bij de fabricage van splijtstofstaven kan niet voorkomen worden dat een zeer geringe verontreiniging van de splijtstof op het oppervlak achterblijft. Tijdens het bedrijf kan hierdoor een zeer geringe hoeveelheid splijtingsproducten in het hoofdkoelmiddel terecht komen.

De belangrijkste radioactieve splijtingsproducten die in het hoofdkoelmiddel terecht kunnen komen als gevolg van bovengenoemde redenen zijn gegeven in tabel 14.1/3. De gegeven nucliden zijn gekozen op basis van hun fysisch-chemische eigenschappen en hun radiotoxiciteit. Nucliden met een kortere halveringstijd dan 2 uur zijn niet vermeld vanwege hun geringe bijdrage ten aanzien van het radioactief afval. Tabel 14.1/3 is gebaseerd op de gemiddelde massieke activiteiten van de splijtingsproducten in het hoofdkoelmiddel zoals gemeten in de periode 2003-2012. De in tabel 14.1/3 genoemde massieke activiteiten liggen ver beneden de toegestane waarden zoals vermeld in de Technische Specificaties (zie hoofdstuk 10).

Indien de grenswaarden uit de Technische Specificaties overschreden dreigen te worden, dient de reinigingscapaciteit en/of de ontgassing van het hoofdkoelmiddel verhoogd respectievelijk continu in bedrijf genomen te worden.

Tabel 14.1/3 Gemiddelde massieke activiteit van de splijtingsproducten in het hoofdkoelmiddel gemeten in de periode 2003-2012

Nuclide	Halveringstijd (d)	Massieke activiteit (Bq/Mg)*
^{85m} Kr	0,187	2,1.10 ⁸
⁸⁷ Kr	0,053	4,1.10 ⁸
⁸⁸ Kr	0,117	4,9.10 ⁸
¹³³ Xe	5,28	1,2.10 ⁹
¹³⁵ Xe	0,382	1,3.10 ⁹
⁴¹ Ar	0,076	8,5.10 ⁷
Totaal edelgasen		4,1.10⁹
¹³⁴ Cs	750	6,8.10 ⁶
¹³⁷ Cs	11000	1,7.10 ⁷
Totaal Cesium		2,4.10⁷
¹³¹ I	8,04	1,5.10 ⁸
¹³² I	0,096	1,3.10 ⁹
¹³³ I	0,866	7,0.10 ⁸
¹³⁴ I	0,036	2,2.10 ⁹
¹³⁵ I	0,275	1,2.10 ⁹
Totaal jodium		5,6.10⁹

* Tot op heden is voornamelijk ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU en MOX splijtstoffen zal de totale massieke activiteit van de splijtingsproducten in het hoofdkoelmiddel naar verwachting niet wijzigen.

Van de in de splijtstof door driedubbele splijting ontstane tritium diffundeert slechts een klein deel uit de splijtstof. De tritiumactiviteit als gevolg van de uraniumverontreiniging op de buitenkant van de splijtstofstaven is te verwaarlozen. De totale tritiumproductie in het hoofdkoelmiddel als gevolg van de verschillende in deze paragraaf genoemde processen is gegeven in tabel 14.1/4. Dit is een gemiddelde over de periode 2003-2012.

Tabel 14.1/4; Jaarlijkse tritiumproductie in het hoofdkoelmiddel gemeten over de periode 2003-2012 op basis van de gemiddelde geloosde hoeveelheid.

Nuclide	Halveringstijd (d)	Activiteit (Bq/jaar)
³ H	4500	7,3.10 ^{12*}

* Tot op heden is voornamelijk ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU splijtstof zal de jaarlijkse productie van tritium naar verwachting met 10% toenemen, terwijl bij het gebruik van MOX splijtstof de tritiumproductie naar verwachting zal afnemen.

14.1.3 Activiteit in de lucht van de gebouwen

De radioactieve verontreiniging van de lucht in de gebouwen kan drie oorzaken hebben:

- activering van de lucht in de buurt van het reactorvat;
- lekkage van radioactieve stoffen uit het primair systeem;
- lekkage van radioactieve stoffen uit nucleaire hulpsystemen buiten de installatieruimte.

Als gevolg van de eerste twee oorzaken wordt alleen de lucht in de installatieruimte van het reactorgebouw verontreinigd met radioactiviteit. Omdat de gebouwen op onderdruk worden gehouden met de laagste druk in de installatieruimte zal deze radioactiviteit zich niet buiten deze ruimte verspreiden.

In tegenstelling tot lekkages in de installatieruimte zijn lekkages daarbuiten bereikbaar zodat bij een geconstateerde lekkage direct maatregelen genomen kunnen worden om besmetting van de lucht te voorkomen.

Merkbare activering van de lucht vindt alleen plaats in de luchtspleet tussen het reactorvat en het biologisch schild, waarbij voornamelijk het nuclide ^{41}Ar gevormd wordt. Omdat deze lucht afgezogen wordt door het koelsysteem van het biologisch schild zal slechts een klein deel van deze activiteit door lekkage in de gebouwlucht komen. Bij het deksel van het reactorvat is de neutronenfluxdichtheid zo gering dat activering van de lucht in het reactorbekken te verwaarlozen is.

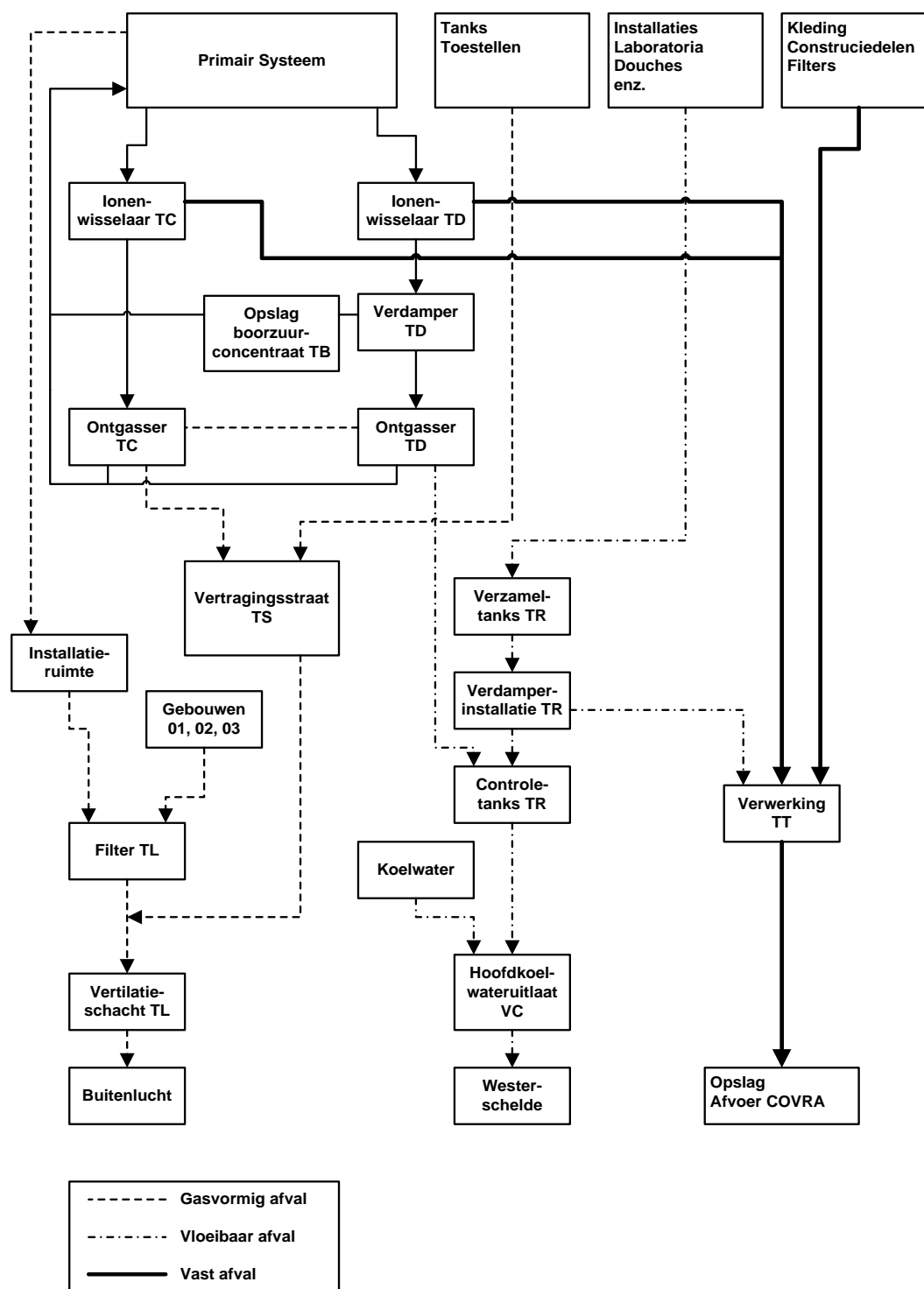
In tabel 14.1/5 is de gemiddelde volumieke activiteit zoals gemeten in de periode 2003-2012 gegeven. Hierbij worden onderscheiden: edelgassen, halogenen en stofgedragen activiteit (aërosolen).

Tabel 14.1/5 Volumieke activiteit in de lucht van de installatieruimte gemeten in de periode 2003-2012.

Nuclidegroep	Volumieke activiteit (Bq/m³)*
edelgassen	$5,0 \cdot 10^4 - 1,0 \cdot 10^5$
halogenen	$1,0 \cdot 10^0$
aërosolen	$2,0 \cdot 10^0$

* Tot op heden is voornamelijk ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU en MOX splijtstoffen zal de volumieke activiteit in de lucht van de installatieruimte naar verwachting niet noemenswaardig wijzigen.

14 Radioactief afval



Figuur 14.1/1 Activiteitsstroomschema radioactief afval

14.2 BEHEERSING EN BEHANDELING VAN VLOEIBAAR RADIOAFVAL
14.2.1 Uitgangspunten

Het radioactief afvalwatersysteem (TR) dient voor het gecontroleerd lozen van afvalwater in de Westerschelde overeenkomstig de geldende wettelijke regelingen. Uitgangspunt van het ontwerp van het systeem is het zo laag mogelijk houden van de lozing van radioactieve stoffen als redelijkerwijs mogelijk. Hiertoe wordt een zodanig gebruik gemaakt van de aanwezige technische middelen dat een optimale zuivering van het radioactieve afvalwater wordt gerealiseerd. Door de zuivering wordt ervoor gezorgd dat de lozingen onder de in de vergunning gestelde limieten blijven. De in de vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale gestelde limieten voor maximaal toegestane vloeibare radioactieve lozingen zijn:

Nuclidegroep	Lozingslimiet (Bq/jaar)
Tritium	$30 \cdot 10^{12}$
Beta/gammastralers(exclusief tritium)	$200 \cdot 10^9$
Alfastralers	$200 \cdot 10^6$

De radioactieve lozingen mogen zowel via de hoofdkoelwaterafvoer als de nevenkoelwaterafvoer plaats vinden.

Als basis voor het ontwerp dienen de volgende afvalwaterstromen:

- afvalwater uit het hoofdkoelmiddelopslag en regeneratiesysteem (TD);
- lekwater afkomstig uit de installatieruimte;
- vloerwater afkomstig uit het gecontroleerd gebied;
- afval- en spoelwater afkomstig uit het "hete" laboratorium en de "hete" werkplaats, de monsternameruimte en de tanks van het decontaminatiewatersysteem (TU);
- water uit de wasbakken, de douches en de wasserij in het gecontroleerd gebied;
- eventueel besmet regenerant uit het stoomgeneratorspuisysteem (RY) in geval van lekkage van een stoomgeneratorpijp.

14.2.2 Lozing van vloeibaar radioactief afval

Vloeibaar radioactief afval wordt batchgewijs (in batches van $\pm 40 \text{ m}^3$) op het oppervlaktewater (Westerschelde) geloosd. Jaarlijks vinden enkele tientallen van deze lozingen plaats. De hoeveelheden geloosd vloeibaar radioactief afval zijn per lozing gegeven in de tabel 14.2/1. In deze tabel zijn de herkomst en de gemiddelde massieke activiteit per lozing in de periode 2003–2012 van de verschillende vloeibaar afvalstromen weergegeven. De gegeven waarden zijn van het afval dat afkomstig is van de verdamper, afval dat parallel aan de verdamper zonder verdere behandeling afgevoerd wordt en afval dat afkomstig is van het koelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD). Er is onderscheid gemaakt tussen tritium en de overige nucliden die in het vloeibare afval voorkomen.

Tabel 14.2/1 Herkomst en gemiddelde massieke activiteit en jaarlijks volume van vloeibaar afval verwerkt door het radioactief afvalwatersysteem (realistische waarden)¹⁾

Oorsprong	Massieke activiteit (Bq/Mg)		Hoeveelheid (m ³ /a)
	Tritium ¹⁾	Overig	
in TR-tanks voor:			
≅ was- en doucheruimten	8,3.10 ⁷	1,8.10 ⁵	7,3.10 ²
≅ TZ-water, "hete" lab, etc.	9,2.10 ⁸	1,2.10 ^{8 2)}	1,1.10 ³
na TR-verdamper	9,2.10 ⁸	3,5.10 ⁴	1,1.10 ³
uit TD-verdamper	8,2.10 ⁹	6,0.10 ⁴	7,5.10 ²

¹⁾ Tot op heden is voornamelijk ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU zal de massieke activiteit van tritium in de vloeibaar-afvallozingen naar verwachting met maximaal 10% toenemen, terwijl bij het gebruik van MOX splijtstof de activiteit van tritium afneemt.

²⁾ waarde gebaseerd op de totaal gamma activiteit.

De totale jaarlijkse lozing gemiddeld over de periode 2003-2012, is gegeven in tabel 14.2/2. Omdat tritium een halveringstijd van 12,3 jaar heeft, en niet met technische voorzieningen uit het water is te verwijderen, wordt de totale gedurende het jaar geproduceerde hoeveelheid geloosd.

Tabel 14.2/2 Jaarlijkse lozing van vloeibaar radioactief afval

Nuclidegroep*	Geloosde activiteit (Bq/a)
tritium	7,0.10 ¹²
β, γ (excl. ³ H)	2,0.10 ⁸
α-stralers	1,2.10 ⁵

* Tot op heden is voornamelijk ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU zal de jaarlijkse tritium lozing vloeibaar afval naar verwachting met maximaal 10% toenemen, terwijl bij het gebruik van MOX splijtstof de tritium lozing afneemt. De categorie "beta/gammastralers" uit tabel 14.2/2 bestond globaal uit 79 % ⁶⁰Co, 8 % ⁵⁸Co, 4 % ^{110m}Ag, 4 % ¹³⁷Cs, 3 % ¹²⁴Sb, 1 % ⁵¹Cr en 1 % ⁵⁴Mn.

14.3 BEHEERSING EN BEHANDELING VAN GASVORMIG RADIOACTIEF AFVAL
14.3.1 Uitgangspunten

Radioactieve gasvormige stoffen en luchtstofgedragen activiteit kunnen op vier manieren vrij komen dan wel in de installatie gevormd worden:

- in de vorm van edelgassen (Xe, Kr) in alle tanks en toestellen waarin zich primair water bevindt;
- in de vorm van tritium, edelgassen, halogenen en aërosolen als gevolg van lekkage van primair water naar de installatieruimte;
- in de vorm van tritium, edelgassen, halogenen en aërosolen als gevolg van lekkage van nucleaire hulpsystemen buiten de installatieruimte;
- in de vorm van edelgas (Ar) door activering van de lucht in de luchtspleet tussen het reactorvat en het biologisch schild.

In het eerstgenoemde geval worden de verontreinigingen afgevoerd door het radioactief afgassysteem (TS) en in de andere gevallen door het nucleair ventilatiesysteem (TL). Deze systemen hebben tot doel de vrijkomende radioactieve gassen gecontroleerd af te voeren zodat de geloosde activiteit zo laag als redelijkerwijs mogelijk is. Hierbij wordt ervoor gezorgd dat de lozingen onder de in de vergunning gestelde limieten blijven.

Er wordt in de tanks, toestellen en de ruimten waarin gasvormige radioactieve stoffen vrij kunnen komen een onderdruk ten opzichte van de buitenlucht gehandhaafd zodat de gassen niet naar de omgeving kunnen ontsnappen.

Daarnaast moet worden voorkomen dat knalgas gevormd kan worden door het door radiolyse uit het primaire water gevormde waterstof en zuurstof.

De in de vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale gestelde lozingslimieten zijn weergegeven in tabel 14.3/1.

Tabel 14.3/1 Vergunningslimieten gasvormig radioactief afval

Nuclidegroep	Lozingslimiet (Bq/a)
Edelgassen	$5 \cdot 10^{14}$
Aërosolen	$5 \cdot 10^8$
^{131}I	$5 \cdot 10^9$
Totaal halogenen	$5 \cdot 10^{10}$
Tritium	$2 \cdot 10^{12}$ (totaal 3H)
^{14}C	$3 \cdot 10^{11}$ (totaal ^{14}C)

14.3.2 Lozing van gasvormig radioactief afval

Zoals in paragraaf 14.3.1 besproken zijn er bij normaal bedrijf twee gasvormige afvalstromen. Eén van het nucleair ventilatiesysteem (TL) en één van het radioactief afgassysteem (TS).

Lozing van gebouwlucht

Van de installatieruimte wordt een hoeveelheid lucht gefilterd afgevoerd via de ventilatieschacht. Daarnaast wordt een veel grotere hoeveelheid lucht uit de bedrijfsruimte, de ringruimte en het reactorhulpgebouw afgevoerd. Door menging van deze luchtstromen wordt bereikt dat de volumieke activiteit van de lucht voldoende laag is.

Lozing vanuit het radioactief afgassysteem

De aan het radioactief afgassysteem toegevoerde gasvormige splijtingsproducten worden na een vertragingstijd naar de ventilatieschacht geleid en verdund aan de omgeving afgegeven. Door de

vertragingstijden zijn de kortlevende xenon- en kryptonisotopen bijna volledig vervallen. De activiteit van het nuclide ^{133}Xe is sterk gereduceerd, terwijl de activiteit van het relatief lang levende ^{85}Kr nog bijna volledig aanwezig is. De totale activiteit wordt door de vertragingstijd met een factor van ruim 100 verminderd. De lozing vindt uiteindelijk plaats via het TL-systeem.

De jaarlijkse lozing van de verschillende categorieën van radioactieve stoffen via de ventilatieschacht naar de omgeving gemiddeld over de periode 2003-2012 zijn gegeven in tabel 14.3/1.

Tabel 14.3/1 Gemiddelde jaarlijkse lozing (2003-2012)¹ via de ventilatieschacht.

Nuclidegroep	Geloosde activiteit (Bq/a)
Edelgassen	$1,1 \cdot 10^{12}$
Aërosolen	$2 \cdot 10^4$ ¹⁾
^{131}I	$1,5 \cdot 10^7$
Totaal halogenen	$2,1 \cdot 10^7$
Tritium	$2,5 \cdot 10^{11}$
^{14}C ²⁾	$1,4 \cdot 10^{11}$

¹⁾ Gemiddelde waarde is gebaseerd op 1 jaar waarin een lozing heeft plaatsgevonden (2006); in de overige jaren is geen lozing op basis van meetwaarden boven de detectiegrens vastgesteld.

²⁾ Tot op heden is voornamelijk ENU/ERU splijtstof toegepast. Het gebruik van c-ERU splijtstof zal naar verwachting echter niet leiden tot noemenswaardige veranderingen in de geloosde activiteit. Bij de inzet van MOX splijtstof neemt de geloosde activiteit naar verwachting af. De verwachte dosisreductie bedraagt ongeveer 10%.

In geval van stoomgeneratorlekkage komt er hoofdkoelmiddel in het secundair systeem en kan dit leiden tot lozing van edelgassen en tritium via de afzuiging van de condensors (zie paragraaf 10.3.2). Zodra echter in de afgezogen lucht activiteit gemeten wordt, dan worden de gassen, in plaats van over het dak, naar het nucleair ventilatiesysteem (TL) afgevoerd, zodat ook bij stoomgeneratorlekkage geen radioactiviteit ongecontroleerd naar de omgeving wordt geloosd.

14.4 BEHEERSING EN BEHANDELING VAN OVERIG RADIOACTIEF AFVAL

14.4.1 Uitgangspunten

Het radioactief vast afvalstelsel (TT) heeft als doel het vaste radioactief afval en het vloeibare radioactief afval dat niet door het radioactief afvalwatersysteem (TR) verwerkt kan worden, te verwerken en af te voeren. Het betreft voornamelijk het volgende afval:

- verdamperconcentraat;
- ionenwisselaarhars;
- poetslappen, kledingstukken e.d.;
- luchtfilters;
- filterresidu;
- besmette of geactiveerde constructiedelen;
- overig vloeibaar afval (oplosmiddelen, oliën e.d.).

Dit afval moet geschikt gemaakt worden voor eventuele tijdelijke opslag in daarvoor bestemde ruimten in de ringruimte (02), het afvalopslaggebouw (34) en uiteindelijke afvoer naar COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval). Voor dit laatste dient het afval ondermeer te voldoen aan de geldende wettelijke vervoersnormen.

Bij de verwerking en het transport van het afval dienen de kans op besmetting en het ontvangen van stralingsdoses zoveel als redelijkerwijs mogelijk beperkt te worden.

14.4.2 Afgifte van overig radioactief afval

Het overig radioactief afval (vast en vloeibaar) wordt niet afgegeven aan de omgeving zoals dat het geval is met een deel van het vloeibaar en gasvormig afval, maar wordt zoals hieronder beschreven verwerkt en opgeslagen en in een later stadium overgedragen aan COVRA voor langdurige opslag.

Het laag actieve vaste afval wordt gesorteerd en eventueel verschroot tot hanteerbare delen waarna het in stalen vaten geperst wordt. Deze vaten kunnen later door COVRA verder verwerkt worden. Het vaste afval met een hogere activiteit wordt in stalen vaten en/of in grotere betonnen vaten gedaan waarna het vat opgevuld wordt met cement. Het vloeibare afval (verdamperconcentraat) wordt in een geautomatiseerde cementeringsinstallatie vermengd met cement en in metalen vaten gedaan. De luchtfilters worden in pakketten in plastic verpakt.

Bij het opvullen van de vaten wordt de activiteit en de nuclidensamenstelling van het afval bepaald. Na het afsluiten van de vaten worden deze gecontroleerd op uitwendige besmetting en het dosistempo aan het oppervlak. Na eventuele reiniging worden de vaten geregistreerd en voorzien van de benodigde wettelijk voorgeschreven stickers met opschrift.

Indien nodig worden de vaten naar het afvalopslaggebouw getransporteerd in een betonnen container.

De hoeveelheid en activiteit van het belangrijkste overig radioactief afval is gegeven in tabel 14.4/1. De gegeven getallen zijn globale gemiddelden over de periode 2003-2012. Bij de in de tabel gegeven activiteiten is niet gecorrigeerd voor verval van de nucliden.

Tabel 14.4/1 De gemiddeld per jaar geproduceerde hoeveelheid overig radioactief afval (vast en vloeibaar) over de periode 2003-2012. De afvoer per soort afval verloopt discontinu.

Soort afval	Activiteit*	Jaarlijkse (geproduceerde) hoeveelheid*
Ionenwisselaar (hars)	Middel	20 vaten (1000 l)
Verdamperconcentraat	Middel	56 vaten (200 l)
Vaste componenten	Middel	30 vaten (200 l)
Persbaar afval	Laag	128 vaten (90 l)
Vloeibaar afval (organisch)	Laag	0,06 m ³ (30 l vaten)

* Tot op heden is voornamelijk ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU en MOX splijtstof zal de activiteit en de hoeveelheid van het vast afval naar verwachting niet wijzigen.

14.5 VERGELIJKING VAN DE LOZINGEN MET DE VERGUNNINGSLIMIETEN

Sinds de kernenergiecentrale Borssele in bedrijf is, is ervaring opgedaan met de lozing van radioactief afval. Te allen tijde is door toepassing van het ALARA-principe iedere lozing zo laag als redelijkerwijs mogelijk gehouden. In deze paragraaf worden de gemiddelden over de periode 2003-2012 vergeleken met de in de vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale gestelde lozingslimieten. Deze gemiddelden geven een representatief beeld van de actuele situatie.

In het algemeen bedragen de vloeibare radioactieve lozingen slechts enkele procenten van de vergunningslimieten en de gasvormige zelfs minder dan 2%. Uitzondering hierop vormt tritium waar voor beide categorieën afval ongeveer 20% van de vergunningslimieten wordt geloosd. Gemiddeld eens in de 2 à 3 jaar treedt een kleine splijtstoflekage op waardoor met name de geloosde hoeveelheid gasvormige radioactieve stoffen kan toenemen tot ongeveer 10% van de vergunningslimieten. Incidenteel is een grotere splijtstoflekage mogelijk waarbij de lozing kan toenemen tot 50% van de vergunningslimieten. Dit laatste is tot op heden slechts in de beginjaren van de bedrijfsvoering opgetreden.

Bovenstaande beschouwing geldt niet voor lozingen van tritium. De hoeveelheden daarvan bedragen circa 20% van de vergunningslimieten maar waarden van circa 50% zijn in het verleden ook opgetreden.

Als gevolg van reparaties en storingen hebben in het verleden kortstondige gasvormige lozingen plaatsgevonden die hoger waren dan normaal gebruikelijk. Deze lozingen bleven altijd onder de vergunningslimieten.

In tabel 14.5/1 zijn de jaarlijkse lozingen weergegeven als gemiddelde en als maximum over de periode 2003-2012. De waarden zijn uitgedrukt in een percentage van de vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale.

Tabel 14.5/1 Gemiddelde en maximale jaarlijkse lozingen als percentage van de vergunningslimieten*.

Lozingsvorm	Nuclidegroep	Gemiddelde over periode 2003-2012 (%)	Maximum over periode 2003-2012 (%)
Vloeibaar	Tritium	24	0
Vloeibaar	Beta/gammastralers	0,1	0,2
Vloeibaar	Alfastralers	0,05	0,25
Gasvormig	Tritium	13	16
Gasvormig	Edelgassen	1	2
Gasvormig	Aërosolen	0,005	0,04
Gasvormig	I-131	0,4	3
Gasvormig	Overige halogenen	0,02	0,1

* Tot op heden is voornamelijk ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU splijtstof zal naar verwachting de gemiddelde en maximale jaarlijkse lozing enigszins hoger zijn. Bij het gebruik van MOX splijtstof zal de gemiddelde en maximale activiteit daarentegen naar verwachting lager zijn.

De bedrijfsvoering is er op gericht om, conform het ALARA-principe, de lozingen tot het uiterste te beperken. Ten behoeve van de flexibiliteit van de bedrijfsvoering is echter enige reserve in de vergunningslimieten ten opzichte van de werkelijke lozingen noodzakelijk.

14.6 ACTIVITEITSBEWAKING

14.6.1 Bewaking van de activiteit in gebouwen en systemen

De activiteit in de installatie is in te delen in twee afzonderlijke groepen:

- activiteit van de lucht in de gebouwen;
- activiteit in de systeemkringlopen.

Bewaking van de activiteit van de lucht in de gebouwen

De activiteit van de lucht in de gebouwen wordt bepaald door middel van meting aan de afgevoerde ventilatielucht. De ventilatielucht van de volgende ruimten wordt op activiteit gecontroleerd:

- installatieruimte (01);
- bedrijfsruimte (01);
- ringruimte (02);
- reactorhulpgebouw (03).

De meting van de volumieke activiteit van edelgassen in deze ruimten geschiedt volgens een meetmethode waarbij de in de lucht aanwezige β -straling gedetecteerd wordt. Daarnaast wordt de lucht met behulp van meetfilters op aërosolen en jodium gecontroleerd.

Bewaking van de activiteit in de systeemkringlopen

Om verspreiding van radioactieve stoffen binnen de centrale naar niet-actieve kringlopen ten gevolge van lekkages te onderkennen en te kunnen beperken, wordt in enkele kringlopen de activiteit gemeten:

- bewaking van de stoom/waterkringloop door middel van een activiteitsmeting in de afzuiging van de condensoren. Daarnaast worden bij de stoomgeneratoren ^{16}N -metingen uitgevoerd om een eventuele stoomgeneratorlekkage snel te kunnen detecteren;
- bewaking van de stoomgeneratorspui (RY);
- bewaking van het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF);
- bewaking van het condensaat van het stoomverzorgingssysteem (TN).

14.6.2 Bewaking van de afgegeven activiteit

De afgifte van de activiteit vindt plaats via drie afzonderlijke wegen:

- via de ventilatieschacht aan de lucht;
- via het afvalwatersysteem aan het koelwater;
- via het vast afvalstelsel naar een faciliteit voor langdurige opslag.

Hierbij wordt erop toegezien dat de vergunningslimieten niet worden overschreden.

Bij de bepaling van de afgifte aan de lucht van edelgassen, jodium en aërosolen en de afgifte van vloeibare radioactieve stoffen aan het koelwater wordt onderscheid gemaakt tussen bewaking (monitoring) en kwantificering per nuclide.

Onder bewaking wordt verstaan: een gecontroleerde registratie van bijvoorbeeld de activiteitsconcentratie (Bq/m^3) waarbij de gemeten waarden worden vergeleken met vooraf ingestelde grenswaarden.

Onder kwantificering per nuclide wordt verstaan: identificering en vaststelling van de activiteit van de verschillende nucliden die worden afgegeven.

De afgifte van de hoeveelheid activiteit aan de buitenlucht wordt gemeten in de ventilatieschacht. Hierbij wordt de afgifte van edelgassen, jodium (en overige halogenen) en aërosolen continu (in

de regelzaal) bewaakt en geregistreerd. Naast meting van de activiteit wordt eveneens het ventilatie-debiet gemeten en geregistreerd.

De kwantificering per nuclide van edelgassen, ^{131}I , overige halogenen en aerosolen vindt periodiek plaats.

Ten behoeve van de bewaking van de afgifte van tritium (als HTO), strontium, α -stralers en ^{14}C vindt een continue monsternamname plaats, echter de analyse van de monsters wordt periodiek uitgevoerd waarbij tevens voor het strontium en de α -stralers een kwantificering per nuclide plaatsvindt.

De afgifte van activiteit via het afvalwatersysteem wordt in eerste instantie gemeten in de verzameltanks en vervolgens, na eventuele behandeling, in de controletanks. Na vrijgave kan het water uit de controletanks geloosd worden. Tijdens het lozen vindt een continue bewaking door middel van een activiteitsmeting in de waterafgifte installatie plaats. Indien de grenswaarde wordt overschreden wordt de lozing direct en automatisch gestopt. Naast de activiteit wordt ook het debiet van de afvalwaterstroom gemeten. De hoeveelheid geloosde activiteit wordt geregistreerd. De kwantificering per nuclide vindt plaats aan representatieve mengmonsters genomen uit de controletanks.

Voor de afgifte van het vaste afval in de vaten wordt de activiteit en de nuclidensamenstelling globaal bepaald. Het dosistempo aan het oppervlak van de vaten wordt gemeten. Deze gegevens worden per vat geregistreerd en aangegeven op het vat door middel van de wettelijk voorgeschreven stickers.

Alle afgegeven hoeveelheden radioactiviteit worden periodiek aan de betreffende overheidsinstanties gerapporteerd.

INHOUDSOPGAVE

15. ONTMANTELING	15-2
15.1 INLEIDING	15-2
15.2 ONTMANTELINGSPLAN KCB	15-3
15.2.1 De strategie.....	15-3
15.2.2 Fasering	15-3
15.2.3 Hoeveelheden en soort afval	15-5
15.2.4 Mogelijke technieken	15-7
15.2.5 Verpakkingsvormen	15-7
15.2.6 Projectorganisatie	15-7
15.2.7 Veiligheidsvoorzieningen tijdens ontmanteling	15-7
15.2.8 Voorlopige planning	15-8
15.2.9 Financiële reservering.....	15-8
15.2.10 Documentbeheer	15-8
15.2.11 Overig.....	15-8

15. ONTMANTELING

15.1 INLEIDING

EPZ is wettelijk verplicht de KCB na de vergunde bedrijfstijd buiten bedrijf te stellen en de daarvoor noodzakelijke financiële middelen te reserveren. Zij dient hiervoor een plan te hebben wat aan detaillering toeneemt naarmate de buitenbedrijfstelling dichterbij komt.

Buitenbedrijfstelling (Eng: Decommissioning) omvat de Post-Operatieve (PO) fase en de Ontmantelingsfase (Dismanteling Phase, DP). In de PO-fase wordt de centrale in een veilige afgeschakelde toestand gebracht, de splijtstof verwijderd en afgevoerd, de nucleaire systemen gedecontamineerd en het operationele afval geconditioneerd en afgevoerd. Hiermee is het overgrote deel (circa 99 %) van de radioactiviteit van de locatie verwijderd. De PO-fase duurt 3,5 jaar en eindigt op het moment dat de vergunning voor ontmanteling is verleend. Deze tijd is met name nodig om de splijtstof uit de laatste kernbelading te laten vervallen en afkoelen.

De ontmanteling omvat het geheel van acties ondernomen na de PO-fase en is gericht op het definitief verwijderen van de systemen, structuren en componenten (SSC's) inclusief al het resterende radioactieve materiaal uit de installatie. Ontmanteling eindigt op het moment waarop de locatie in zodanige toestand verkeert dat het terrein geschikt is voor elke volgende functie; de zogenaamde *groene weide*, zoals bedoeld in artikel 30a, lid 1 Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse).

De wijze waarop de KCB ontmanteld gaat worden is vastgelegd in het *Ontmantelingsplan KCB* zoals dit laatstelijk op 27 oktober 2011 door de minister van Economische zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) is goedgekeurd. Dit plan voldoet aan de volgende daaraan gestelde wettelijke eisen:

- art 26, eerste en tweede lid en art 30, eerste en derde lid van het Bkse;
- art 3, eerste en tweede lid van de Regeling buitengebruikstelling en ontmanteling nucleaire inrichtingen (Rboni).

Het Ontmantelingsplan zal iedere 5 jaar worden geactualiseerd overeenkomstig art. 29, eerste lid Bkse en telkens weer worden goedgekeurd door de bevoegde minister overeenkomstig art 27, eerste lid Bkse.

De hiernavolgende paragrafen geven een korte samenvatting van het *Ontmantelingsplan KCB*.

15.2 ONTMANTELINGSPLAN KCB

15.2.1 De strategie

De belangrijkste randvoorwaarde van ontmanteling is het veilig afvoeren van de splijstof en het afbreken respectievelijk afvoeren van de reactorsystemen met een zo gering mogelijke stralingsbelasting voor de medewerkers, de bevolking en het milieu.

De volgende strategieën en uitgangspunten worden aangehouden bij de ontmanteling:

- het Defence in Depth-principe wordt gehanteerd (zie hoofdstuk 12);
- de hoeveelheid afval dient ALARA te zijn;
- de stralingsbelasting voor het personeel dient ALARA te zijn. Daarom zal de opgebrachte splijstof en het geactiveerde deel van de installatie de plant zo snel mogelijk verlaten;
- de brandlast wordt zo laag mogelijk gehouden;
- besmette hulpcomponenten zullen op die momenten worden gedecontamineerd en verwijderd dat dit de werkomstandigheden ten goede komt.

15.2.2 Fasering

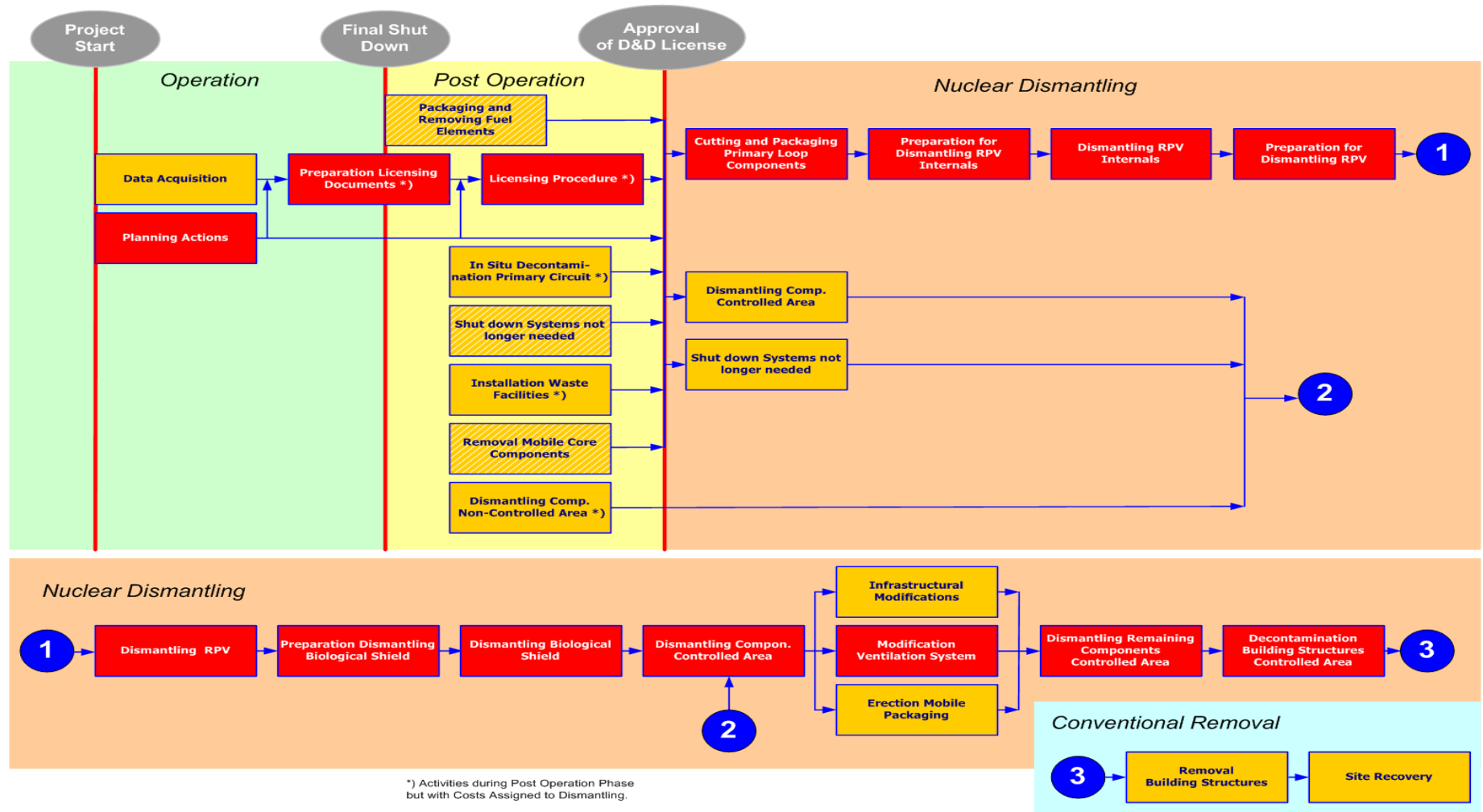
De ontmantelingsfase start op het moment dat de Ontmantelingsvergunning is verleend. Voorbereidende werkzaamheden, waaronder die, welke nodig zijn om aan de Ontmantelingsvergunning te voldoen, zullen echter plaatsvinden onder de bedrijfsvergunning en zullen dus ook aan de laatstgenoemde voldoen. Zo zal onder andere het Alarmresponsplan moeten worden aangepast aan de voorwaarden die de Ontmantelingsvergunning stelt en zullen systemen voor brandbeveiliging operationeel blijven.

Na de definitieve buitenbedrijfstelling worden onder andere de volgende maatregelen genomen:

- afschakeling van systemen die niet meer nodig zijn;
- reconstructie en verbetering van de infrastructuur;
- inrichting van bedrijfsruimtes voor decontaminatie en vrijgave van materiaal en opslag.

Figuur 15.2/1 toont het stroomschema van de ontmanteling.

15 Ontmanteling

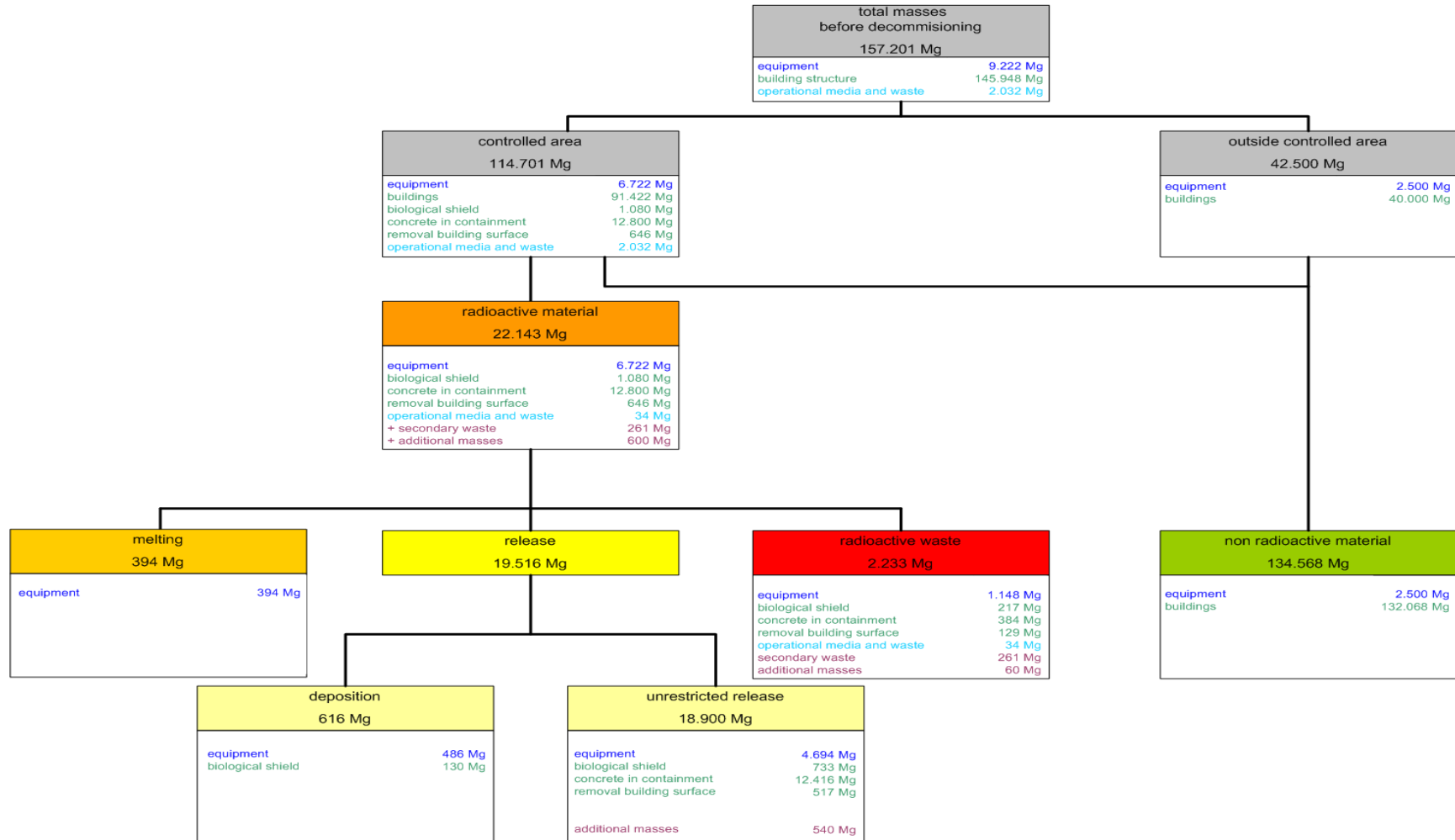


Figuur 15.2/1; Stroomschema ontmanteling KCB

15.2.3 Hoeveelheden en soorten afval

Figuur 15.2/2 toont het overzicht van de bij de ontmanteling van de KCB te verwachten hoeveelheden en soorten te produceren afval.

15 Ontmanteling



Figuur 15.2/2; Geschatte hoeveelheden te produceren afval

15.2.4 **Mogelijke technieken**

Het Ontmantelingsplan beschrijft de gebruikelijke technieken voor verkleining of vermindering van afval. Deze zijn:

- decontaminatie; zowel chemisch als mechanisch (hogedrukwaterreiniging, stralen, schuren, slijpen);
- ontmanteling; zowel door knippen, zagen en snijden (mechanisch, thermisch, hydraulisch) en afscherming;
- verbranding; deze techniek zal om economische redenen niet worden gebruikt;
- smelten;
- verdampen.

Welke techniek of methode in welke situatie gebruikt gaat worden zal in de toekomst meer precies bepaald worden.

15.2.5 **Verpakkingsvormen**

Het af te voeren afval zal in vaten worden afgevoerd. Op basis van het feit dat EPZ wettelijk verplicht is haar afval naar de COVRA af te voeren bepaalt COVRA de specificaties van deze vaten.

15.2.6 **Projectorganisatie**

Het ontmantelingsproject zal ressorteren onder de EPZ-bedrijfsleiding.

Personeelskwalificaties zullen vastgesteld zijn en personeel, ongeacht of dit eigen personeel of ingehuurd personeel betreft, zullen aan deze kwalificaties voldoen. De taak-en verantwoordelijkheidsverdeling zal daarbij helder zijn.

Een substantieel deel van het EPZ-personeel, waaronder dat deel dat zorgdraagt voor stralingsbescherming en contaminatie, zal deel uitmaken van de projectorganisatie.

15.2.7 **Veiligheidsvoorzieningen tijdens ontmanteling**

Bij de start van de Ontmantelingsfase zijn alle SSC's functioneel. De SSC's die zullen worden gebruikt bij de ontmanteling zullen state of the art zijn.

Al het materiaal in het gecontroleerd gebied is verondersteld radioactief te zijn totdat metingen hebben aangetoond dat het materiaal vrijgegeven kan worden. Vrijgaveniveau's zijn vastgesteld en in overeenstemming met vergunning, regelgeving en COVRA.

De mate van toezicht op werkzaamheden is in overeenstemming met het veiligheidsbelang en de risico's.

15.2.8 Voorlopige planning

Belangrijkste mijlpalen voor ontmanteling zijn:

- start project: 3 jaar vóór de start van de definitieve buitenbedrijfstelling (PO-fase), dus eind 2030;
- einde PO-fase: 3,5 jaar na de start van de definitieve buitenbedrijfstelling;
- einde ontmanteling ("Groene weide"): 13 jaar na de start van definitieve buitenbedrijfstelling.

In figuur 15.2/3 is de globale planning van de ontmantelingsfase te zien.

15.2.9 Financiële reservering

De wijze waarop EPZ zekerstelt dat de toekomstige ontmantelingskosten uit eigen middelen betaald kunnen worden, wordt elke 5 jaar goedgekeurd door het bevoegd gezag. De laatste goedkeuring vond plaats in 2011 door de ministers van Financiën en Economische zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I).

In 2012 is de Stichting Beheer Ontmantelingsgelden Kerncentrale Borssele opgericht. Het doel van de stichting is de financiële zekerheid te bieden die krachtens de Kernenergiewet wordt vereist. Kort gezegd houdt dit in dat bij sluiting van de kerncentrale voldoende liquiditeiten aanwezig zijn om de ontmanteling te kunnen financieren en te voorkomen dat bij een faillissement van de vergunninghouder de beschikbare gelden in de boedel zouden vallen. De stichting is opgericht om liquide middelen in juridische zin af te zonderen van EPZ. Het economisch eigendom blijft volledig voor EPZ maar mag alleen onttrokken worden voor ontmantelingsdoeleinden en dan ook alleen met toestemming van de overheid. Door middel van een aanvangsstorting in 2012, de jaarlijkse bijstortingen (14,7 miljoen euro in 2013) en het te realiseren rendement dient in 2031 voldoende kapitaal te zijn opgebouwd om aan de amoveringsverplichting van de KCB te kunnen voldoen.

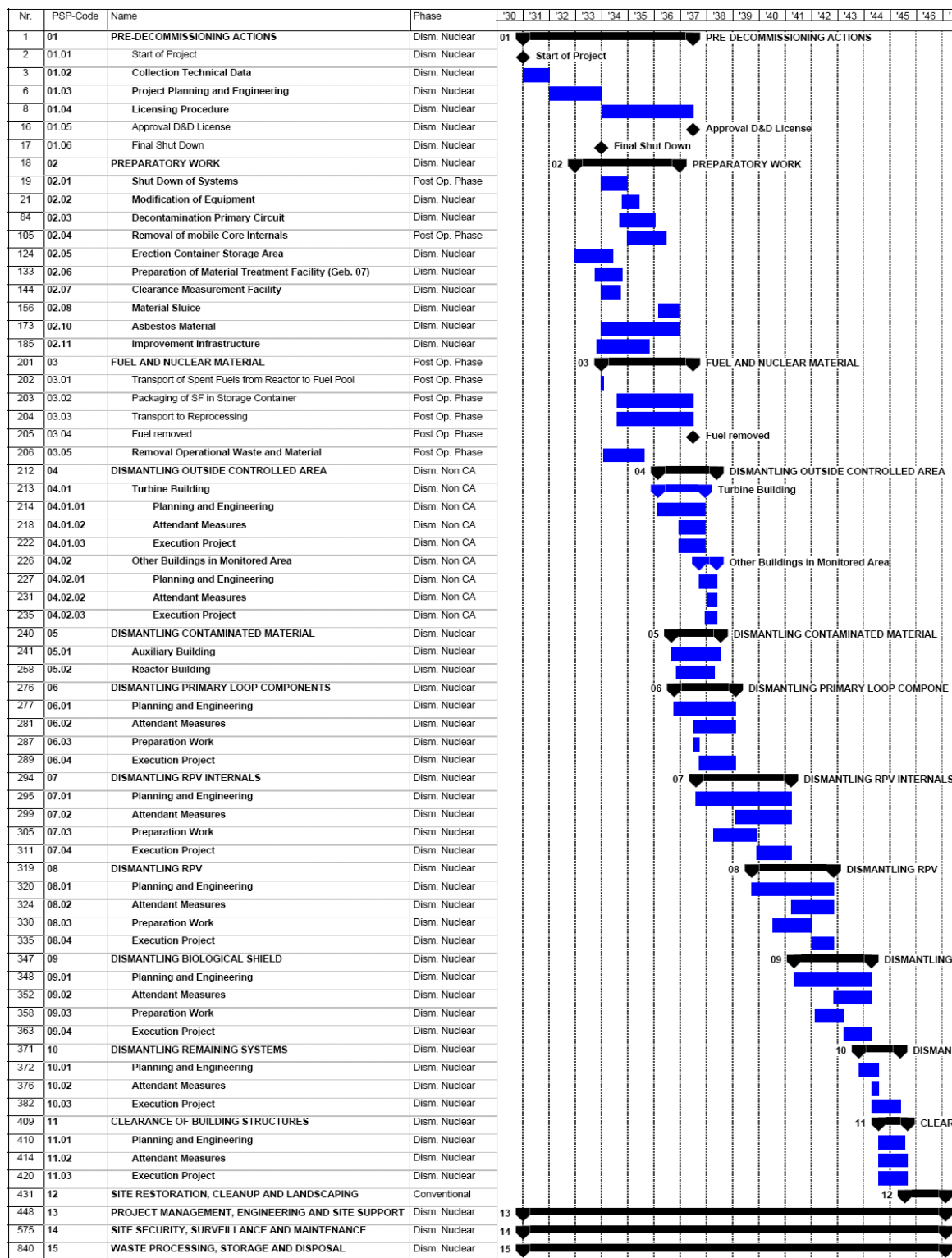
15.2.10 Documentbeheer

Diverse bedrijfsgegevens zijn van belang voor de ontmantelingsfase. In paragraaf 9.9 wordt beschreven hoe EPZ-KCB haar documenten in het algemeen beheert; van initiële opstelling tot en met archivering. Nadere bijzonderheden worden gegeven in interne instructies.

15.2.11 Overig

Het Ontmantelingsplan is een levend document en zal in ieder geval elke 5 jaar worden gereviewed. De mate van detaillering zal toenemen met de tijd. In de toekomst zal ook aandacht gegeven (blijven) worden aan:

- wijzigingen in de inrichting die gevolgen kunnen hebben voor de ontmanteling;
- wet- en regelgeving zoals het Asbestverwijderingsbesluit;
- het meetprogramma wat uitgevoerd wordt tijdens de operationele fase en waarvan de resultaten van belang zijn voor de ontmantelingsfase;
- de voorbereiding van het Veiligheidsrapport voor de ontmantelingsfase;
- voorzieningen zoals elektriciteit en water tijdens de ontmantelingsfase;
- voorzieningen voor de sortering en tussenopslag tijdens de ontmantelingsfase;
- beveiliging en toezicht;
- het vergaren en behoud van kennis t.a.v. ontmanteling.



Figur 15.2/3: Planning ontmanteling (globaal)