

ANVS  
t.a.v. 5.1.2e  
Postbus 16001  
2500 BA DEN HAAG

datum 2 juni 2017  
uw ref.  
onze ref. 5.1.2e /B17 00668  
beh. door 5.1.2e  
telefoon 5.1.2e  
e-mail 5.1.2e @epz.nl

betreft Aanbieden Jaarrapport vermoeiingsmonitoring KCB

Geachte 5.1.2e,

In december 2016 hebben wij u het eerste jaarrapport vermoeiingsmonitoring opgestuurd (KTE/MCr/AdJ/R161012). Dat rapport betrof de periode tot SW15. Inmiddels heeft NRG in opdracht van EPZ de vermoeiingsbelastingen in de volgende cyclus verwerkt in een opvolgend jaarrapport dat de periode tot SW16 betreft. Dit rapport wordt meegezonden met de brief.

- Jaarrapport vermoeiingsmonitoring, Status tot SW16', NRG-24135/17.142759, 5.1.2e april 2017

Uiteraard zijn wij bereid om de inhoud van het aangeboden rapport indien gewenst nader toe te lichten. Met deze brief en het bijbehorende rapport ga ik ervan uit dat EPZ in voldoende mate invulling geeft aan voorschrift II Bb nr 6 van de 'LTO-vergunning' (DGETM-PDNIV / 13018780) respectievelijk voorschrift C48 van de revisievergunning (definitief 12 juli 2016).

Deze informatie is strikt vertrouwelijk en bevat onder meer bedrijfsgevoelige informatie dan wel informatie waarop overige weigeringsgronden op grond van de Wet Openbaarheid Bestuur (WOB) van toepassing zijn. Indien u een verzoek ontvangt op grond van de WOB, verzoeken wij u (i) onderhavige informatie als zodanig te behandelen jegens verzoeker en (ii) ons van het verzoek per omgaande in kennis te stellen en onderhavige informatie niet te openbaren alvorens wij ons als belanghebbende met de ons ter beschikking staande rechtsmiddelen hebben kunnen verweren tegen mogelijke openbaarmaking van de vertrouwelijke informatie.

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende te hebben ingelicht.

Hoogachtend

5.1.2e

Bijlage: Jaarrapport Vermoeiingsmonitoring KCB

Bedrijfsvoering  
VERTROUWELIJK



# Jaarrapport vermoeiingsmonitoring

Status tot SW16

Vertrouwelijk

In opdracht van N.V. EPZ

5.1.2e  
auteur(s):

5.1.2e  
gereviewd:

naam: R142759\_jaarrapport\_SW16  
referentienr.: NRG-24135/17.142759  
54 pagina's 5 april 2017

5.1.2e  
goedgekeurd:

© NRG 2017

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekend-gemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

# Inhoud

Samenvatting		4
1	Inleiding	5
2	Ontwerpbasis vermoeiing	6
2.1	Vermoeiing	6
2.2	Vermoeiingsbeheersing	6
2.2.1	Aantonen integriteit componenten	6
2.2.2	Ontwerpbasis	8
2.2.3	Hoog-cyclische thermische vermoeiing	10
2.3	Bedrijfsduurverlenging	11
2.3.1	Bedrijfsduurverlenging	11
2.3.2	Nieuwe scope	11
2.3.3	Revalidatie van vermoeiingsanalyses	14
2.3.4	Vermoeiingsmonitoring met behulp van FAMOS	15
2.3.5	Nieuwe ontwerpbasis vermoeiing	16
3	Vermoeiingsmonitoring	18
3.1	Methodiek	18
3.2	Controle opgetreden aantallen belastingtoestanden	21
3.3	Controle thermische belastingwisselingen	24
4	Evaluatie van de resultaten	28
4.1	Marges	28
4.1.1	Controle opgetreden aantallen belastingtoestanden	28
4.1.2	Controle thermische belastingwisselingen	29
4.2	Verdere maatregelen	31
5	Conclusie	34
	Afkortingen	35
	Definities	35
	Literatuurlijst	36
Bijlage A	Opgetreden aantallen belastingtoestanden	41
Bijlage B	Getelde en geprojecteerde aantallen belastingtoestanden	45
Bijlage C	Getelde en geprojecteerde aantallen thermische belastingwisselingen	51



## Samenvatting

In voorliggend rapport wordt de KCB-ontwerpbasis voor vermoeiing getoetst door de opgetreden belastingwisselingen te vergelijken met de uitgangspunten in de vermoeiingsanalyses. Voorheen gebeurde dit met het transiëntenrapport dat uitging van de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van 40 jaar. In het kader van het verlengen van de ontwerpbedrijfsduur naar 60 jaar is een nieuwe ontwerpbasis voor vermoeiing vastgelegd.

Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat, naast de lopende activiteiten, één transiënt nader dient te worden geanalyseerd. Deze is opgetreden bij de sproeistomp van hulpsproeileiding TA-warm. Bij het dubbel T-stuk RL/RS van stoomgenerator 1 is eveneens een aantal afwijkende transiënten waargenomen, dat nog nadere analyse behoeft. De lopende activiteiten betreffen vermoeiingsmonitoring, aanpassing van de belastingspecificatie en vermoeiingsanalyse van de volumevereffeningsleiding, en eventuele aanpassing van de bedrijfsvoeringsprocedure voor het voeden van de stoomgeneratoren. Voor de overige componenten is aangetoond dat er momenteel geen additionele maatregelen nodig zijn voor het beheersen van vermoeiing en dat er voldoende marge is voor de toekomstige, gepostuleerde gebeurtenissen.

## 1 Inleiding

In voorliggend rapport wordt de KCB-ontwerpbasis voor vermoeiing getoetst door de opgetreden belastingwisselingen te vergelijken met de uitgangspunten in de vermoeiingsanalyses. Voorheen gebeurde dit met het transiëntenrapport dat uitging van de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van 40 jaar. In het kader van het verlengen van de ontwerpbedrijfsduur naar 60 jaar is een nieuwe ontwerpbasis voor vermoeiing vastgelegd.

Als onderdeel van het bepalen van de nieuwe ontwerpbasis is in 2010 het vermoeiingsmonitoringsysteem FAMOS geïnstalleerd om thermische belastingwisselingen beter te kunnen meten. Met ingang van 2014 wordt FAMOS gebruikt als onderdeel van de jaarlijkse toetsing van de uitgangspunten van de vermoeiingsanalyses. Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van vermoeiingsmonitoring tot de splijststofwissel van 2016 (SW16).

In hoofdstuk 2 wordt de ontwerpbasis voor vermoeiing beschreven en wordt uitgelegd hoe deze tot stand is gekomen. Hoofdstuk 3 beschrijft de procedure voor vermoeiingsmonitoring en de resultaten ervan tot SW16. In hoofdstuk 4 worden de resultaten geëvalueerd. Ten slotte wordt in hoofdstuk 5 de conclusie getrokken.

## 2 Ontwerpbasis vermoeiing

### 2.1 Vermoeiing

De KCB-installatie is samengesteld uit verschillende stalen componenten, zoals het reactorvat, de hoofdkoelmiddelleidingen en de drukhouder. Als gevolg van mechanische en thermische belastingen (druk, temperatuur, eigen gewicht etc.) zullen spanningen in het materiaal optreden. Bij het ontwerp is met deze belastingen rekening gehouden zodat de optredende spanningen niet zullen leiden tot het bezwijken van componenten.

Vermoeiing is het fenomeen waarbij een component in geval van het langdurig optreden van wisselende belastingen kan bezwijken bij lagere spanningen dan de statische ontwerpspanningen.

Belastingwisselingen veroorzaken spanningswisselingen in het materiaal, waardoor na verloop van tijd microscheuren kunnen ontstaan. Of en wanneer dit gebeurt is afhankelijk van de grootte van de spanningswisselingen en het aantal. Blijven de belastingwisselingen na scheurinitiatie aanwezig, dan kunnen de geïnitieerde microscheuren doorgroeien en uiteindelijk leiden tot falen.

### 2.2 Vermoeiingsbeheersing

#### 2.2.1 Aantonen integriteit componenten

Voor veiligheidsrelevante componenten dient voor de gehele bedrijfstijd aangetoond te worden dat de integriteit gewaarborgd is. Bij het ontwerp van de componenten wordt rekening gehouden met het optreden van vermoeiing in geval sprake is van significante belastingwisselingen gedurende bedrijfsvoering. In dat geval dienen vermoeiingsanalyses gemaakt te worden waarmee aangetoond wordt dat er gedurende de ontwerpbedrijfsduur geen scheurinitiatie ten gevolge van vermoeiing kan optreden.

De methodiek voor het uitvoeren van de analyses en de criteria voor het beoordelen van de resultaten zijn vastgelegd in internationale regelgeving. Bij de KCB wordt hiervoor gebruik gemaakt van de Amerikaanse ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III en de Duitse KTA 3201.2 en 3211.2. De beoordelingsmethodiek in deze normen is vergelijkbaar.



*Cumulatieve gebruiksfactor*

De vermoeiings- of gebruiksfactor wordt met behulp van een generieke vermoeiingscurve voor een bepaald type materiaal bepaald. Een voorbeeld voor austenitisch staal is weergegeven in KTA 3201.2, zie Figuur 1. Deze curves zijn op basis van beproevingen vastgesteld en geven de relatie tussen de grootte van de belastingwisseling (spannings- of rekamplitude) en het aantal wisselingen (cycli) waarbij aangenomen moet worden dat scheurinitiatie zal optreden.

5.1.1c



Figuur 1 Vermoeiingscurve voor austenitisch staal uit KTA 3201.2

De vermoeiingscurves die in de richtlijnen voor nucleaire installaties worden gebruikt bevatten ruime veiligheidsmarges ten opzichte van de werkelijk gemeten vermoeiingscurves.

De vermoeiingscurve wordt gebruikt om bij de maximaal te verwachten spanningsamplitude (volgt uit spanningsanalyse) als gevolg van een (veronderstelde) belastingwisseling, het aantal toelaatbare wisselingen of cycli te bepalen (N). 5.1.1c

[Redacted text]

5.1.1c



5.1.1c



### 2.2.2 Ontwerpbasis

De belastingen die ten grondslag liggen aan de vermoeiingsanalyses van de KCB, zijn vastgelegd in de belastingcatalogus en de belastingspecificaties (dit is schematisch weergegeven in Figuur 2). 5.1.

5.1.1c



5.1.1c



Figuur 2 Ontwerpbasis voor vermoeiing



5.1.1c

De geldigheid van de aannames in de ontwerpbasis werd tot en met 2014 jaarlijks getoetst middels het transiëntenrapport. Hierin werden de opgetreden belastingtoestanden (bijvoorbeeld het aantal opstarten vanuit nullast koud, afregelen tot nullast koud, reactorsnelafschakeling en turbinesnelafschakeling) vergeleken met de aantallen in de toenmalige belastingcatalogus [34].

In het kader van het verlengen van de ontwerpbedrijfsduur naar 60 jaar is de oorspronkelijke ontwerpbasis voor vermoeiing gerevalideerd om aan te tonen dat ook voor bedrijfsvoering tot 2034 de integriteit van de installatie gewaarborgd is, zie paragraaf 2.3. Vanaf 2014 wordt jaarlijks getoetst aan de nieuwe ontwerpbasis. Voorliggend rapport geeft hier invulling aan.

5.1.1c



Figuur 3 Schematisch overzicht van de locaties met vermoeingsanalyses [36]

### 2.2.3 Hoog-cyclische thermische vermoeiing

Het in paragraaf 2.1 en 2.2 beschreven vermoeiingsconcept gaat uit van vermoeiingsbelastingen die verwacht of gepostuleerd worden in het ontwerp en die gemeten kunnen worden. Dit is het geval voor de belastingwisselingen die gedurende de diverse bedrijfstoestanden en de overgangen van bedrijfstoestanden (bijvoorbeeld opstarten) plaatsvinden. Wereldwijd zijn er bij kerncentrales ook gevallen van scheurvorming door vermoeiing opgetreden ten gevolge van lokale hoogfrequente temperatuurwisselingen. Deze temperatuurwisselingen zijn bijvoorbeeld opgetreden door ontwerpfouten of doorlaten van kleppen waardoor er wervelingen van warm en koud water ontstaan. Door de hoge frequentie kunnen dit soort wisselingen niet of nauwelijks gevolgd worden met temperatuurmetingen. Door de hoge frequentie treden er in een korte tijd heel veel cycli op waardoor scheurvorming al naar korte tijd kan ontstaan. Monitoren met behulp van inspecties is daardoor ook niet geschikt om deze vorm van vermoeiing te bewaken. Deze vorm van vermoeiing dient voorkomen te worden door een goed

ontwerp en procesbewaking (voorkomen doorlaten kleppen waardoor grote temperatuurverschillen kunnen ontstaan).

5.1.1c

## 2.3 Bedrijfsduurverlenging

### 2.3.1 Bedrijfsduurverlenging

Bij het oorspronkelijke ontwerp en de bouw van de KCB is rekening gehouden met een bedrijfsduur van 40 jaar (1973 – 2013). In 2006 is een convenant tussen de eigenaren en de overheid afgesloten waarmee bedrijfsvoering tot uiterlijk 2034 mogelijk werd, dat wil zeggen 60 jaar bedrijfsvoering. Om dit mogelijk te maken diende onder andere de oorspronkelijke ontwerpbasis gerevalideerd te worden om 60 jaar in plaats van 40 jaar af te dekken. Deze revalidatie heeft plaatsgevonden als onderdeel [35] van een uitvoerig bewijsvoeringsproject dat de basis vormde voor het wijzigen van het veiligheidsrapport en de vergunning. Uitgaande van de actuele ontwerpbasis voor vermoeiing is een nieuwe procedure voor vermoeiingsmonitoring opgezet.

### 2.3.2 Nieuwe scope

In principe zou ervoor gekozen kunnen worden om alleen de oorspronkelijk gemaakte vermoeiingsanalyses te beschouwen en te revalideren voor 2034. Er is echter besloten om onafhankelijk van de bestaande bewijsvoering een nieuwe inventarisatie van componenten/locaties uit te voeren [36].

5.1.1c





**Bedrijfsvoering  
VERTROUWELIJK**

5.1.1c

A large, solid grey rectangular box covers the majority of the page, indicating that the content has been redacted.

Tabel 1 Scope voor vermoeiing [36]

5.1.1c



### 2.3.3 Revalidatie van vermoeiingsanalyses

Na het vaststellen van de scope, zijn de vermoeiingsanalyses gerevalideerd voor bedrijfsvoering tot 2034. Hiertoe zijn de bestaande analyses getoetst aan de laatste ontwikkelingen en waar mogelijk zijn gebruiksfactoren tot 2034 bepaald. Een belangrijke ontwikkeling die hierbij is meegenomen, is de invloed van het medium op vermoeiing (environmental fatigue). De gevoerde waterchemie kan een negatieve invloed hebben op de vermoeiingslevensduur afhankelijk van diverse parameters. Tot een aantal jaren geleden werd aangenomen dat de invloed van het medium in voldoende mate verdisconteerd was in de veiligheidsfactoren die opgenomen zijn in de vermoeiingscurves. Uit onderzoek is echter gebleken dat de invloed van het medium mogelijk groter is dan gedacht. In de actuele ontwerpregels wordt dit effect meegenomen [42]. Voor de revalidatie van de vermoeiingsanalyses van de KCB is hiervoor de beoordelingsmethodiek van KTA 3201.2 en 3211.2 (2011) gebruikt.

Om de gebruiksfactoren tot en met 2034 te bepalen, zijn allereerst de aantallen uit de toenmalige belastingcatalogus [34] geprojecteerd naar 2034. Dit is gedaan op basis van tellingen van de opgetreden belastingtoestanden en de aantallen die minimaal zijn meegenomen in de oorspronkelijke vermoeiingsanalyses.

Met de aangepaste gebruiksfactoren is vervolgens een screening voor environmental fatigue uitgevoerd. De KTA geeft hiervoor grenswaarden van 0.2 voor austenitisch staal en 0.4 voor ferritisch staal. Indien de cumulatieve gebruiksfactoren kleiner zijn dan deze waarden, zijn geen additionele maatregelen nodig. Als de cumulatieve gebruiksfactoren groter of gelijk zijn aan de grenswaarden, zijn de vermoeiingsanalyses uitgebreid met zogenoemde environmental fatigue correctiefactoren. Deze factoren zorgen voor een verhoging van de gebruiksfactor. Aangezien de KTA zelf geen richtlijnen geeft voor het bepalen van deze factoren, zijn hiervoor Amerikaanse richtlijnen gebruikt: NUREG/CR-5704 [40] voor austenitisch staal en NUREG/CR-6583 [41] voor ferritisch staal.

De resultaten van de toetsing van de vermoeiingsanalyses en de screening voor environmental fatigue staan beschreven in het rapport "Assessment of Fatigue TLAAs" [39]. Hiermee is voor 41 locaties de integriteit met betrekking tot vermoeiing aangetoond voor de gehele bedrijfsduur tot 2034. Voor de overige 9 locaties zijn nieuwe, gedetailleerdere vermoeiingsanalyses uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de resultaten van vermoeiingsmonitoring met behulp van FAMOS, zie paragraaf 2.3.4.



#### **2.3.4 Vermoeiingsmonitoring met behulp van FAMOS**

Over het algemeen zijn de temperatuurwisselingen, die in de ontwerpanalyses zijn gepostuleerd conservatiever dan de werkelijke temperatuurwisselingen. In enkele gevallen is het conservatisme zodanig groot dat de gebruiksfactoren voor 2034 worden overschreden als uitgegaan wordt van gepostuleerde temperatuurwisselingen. Daarnaast dienen lagere gebruiksfactoren aangetoond te worden om environmental fatigue te verdisconteren.

Voorheen werden de temperaturen gemeten met behulp van de aanwezige temperatuuropnemers van het PPS (Process Presentation System). Met behulp van de aanwezige PPS-temperatuuropnemers is het niet mogelijk om alle relevante temperatuurwisselingen voldoende nauwkeurig te bepalen, uitgaande van 20 jaar extra bedrijfstijd en de noodzaak om lagere gebruiksfactoren aan te tonen. Om de temperatuurwisselingen voldoende nauwkeuring in beeld te hebben is tijdens de splijtstofwisselperiode van april 2010 het vermoeiingsmonitoringsysteem FAMOS geïnstalleerd. Dit bestaat uit 25 meetsecties, die de temperaturen van de leidingen registreren (zie Figuur 4). De meetsecties bevinden zich op de locaties die onderhevig zijn aan significante temperatuurwisselingen (zie Tabel 1).

Op sommige locaties treedt gelaagdheid (stratificatie) op waarbij sprake is van aanzienlijke temperatuurverschillen over de leidingdoorsnede. In geval van stratificatie ontstaan globale spanningen die in geval van wisselingen extra bijdragen aan de vermoeiingsbelasting. Bekend is dat dit onder andere optreedt in de volumevereffeningsleiding tijdens in- en outsurge. Op de locaties waar stratificatie zou kunnen optreden, bevatten de FAMOS meetsecties 7 thermokoppels (7TC in Figuur 4) en op de overige locaties 2 (2TC in Figuur 4).

5.1.1c



Figuur 4 Locaties van de FAMOS-meetpunten

### 2.3.5 Nieuwe ontwerpbasis vermoeiing

De belastingcatalogus uit de ontwerpbasis [34] bestrijkt de periode van 1973 (inbedrijfname van de installatie) tot 2013. Ten behoeve van de bedrijfsvoering tot 2034 is een nieuwe belastingcatalogus opgesteld voor de periode van 1973 tot en met 2034 [43]. 5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c

De nieuwe ontwerpbasis voor vermoeiing voor bedrijfsvoering tot 2034 bestaat uit de nieuwe scope, de nieuwe belastingcatalogus voor vermoeiing, de gerevalideerde belastingspecificaties en de gerevalideerde vermoeiingsanalyses. De nieuwe ontwerpbasis vormt het uitgangspunt voor de vermoeiingsmonitoring zoals beschreven in hoofdstuk 3.



### 3 Vermoeiingsmonitoring

#### 3.1 Methodiek

Om de geldigheid van de vermoeiingsanalyses aan te tonen, moet regelmatig worden gecontroleerd of de werkelijk opgetreden gebeurtenissen worden afgedekt door de belastingspecificaties (karakteristieken en aantal belastingwisselingen per belastingtoestand) en de belastingcatalogus (aantallen).

5.1.1c



5.1.1c



Figuur 5 Plan-do-check-act-diagram voor vermoeiingsbeheersing

5.1.1c





Tabel 2 Locaties voor jaarlijkse controle van belastingspecificaties

5.1.1c

A large grey rectangular area redacting the content of the table.

5.1.1c

A large grey rectangular area redacting the content of the table.

### 3.2 Controle opgetreden aantallen belastingtoestanden

In de belastingcatalogus voor vermoeiing [43] zijn de tot en met 2034 geprojecteerde aantallen voor de verschillende belastingtoestanden gespecificeerd. 5.1.1c

[Redacted content]

5.1.1c

[Redacted content]





**Bedrijfsvoering**  
**VERTROUWELIJK**

Tabel 3 Getelde aantallen tot SW16 versus aantallen uit belastingcatalogus  
5.1.1c

A large, solid grey rectangular area covering the majority of the page, indicating that the content has been redacted.

5.1.1c

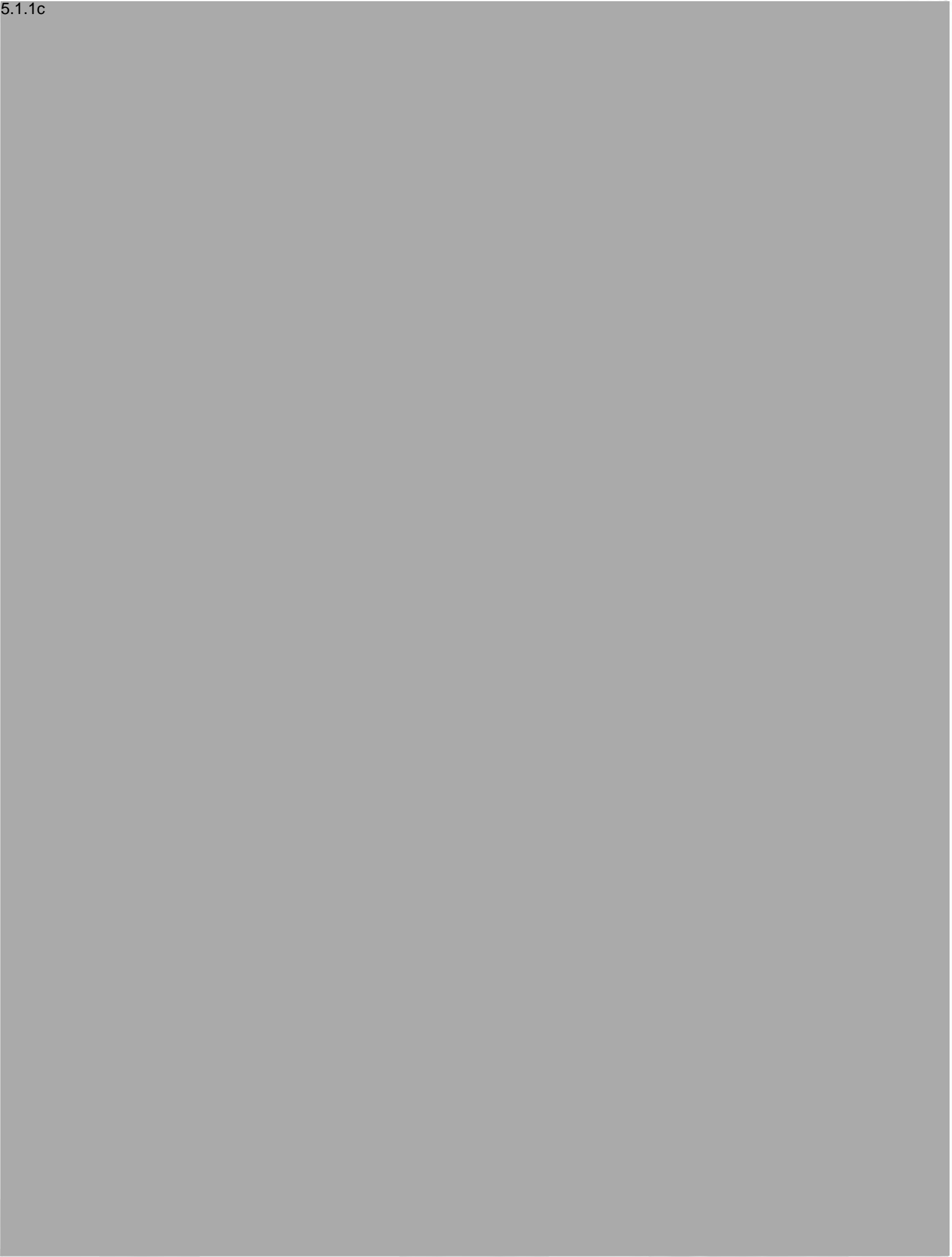


Figuur 6 Getelde aantallen tot SW16 versus aantallen uit belastingcatalogus [43] - vanaf 1973

5.1.1c



Figuur 7 Getelde aantallen tot SW16 versus aantallen uit belastingcatalogus [43] - vanaf 1997









5.1.1c

5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



## 4 Evaluatie van de resultaten

In dit hoofdstuk wordt de vermoeiingsstatus van de installatie geëvalueerd. Dit gebeurt aan de hand van de resultaten van de vermoeiingsmonitoring (paragraaf 4.1) en de overige ontwikkelingen op het gebied van vermoeiing (paragraaf 4.2).

5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c







5.1.1c

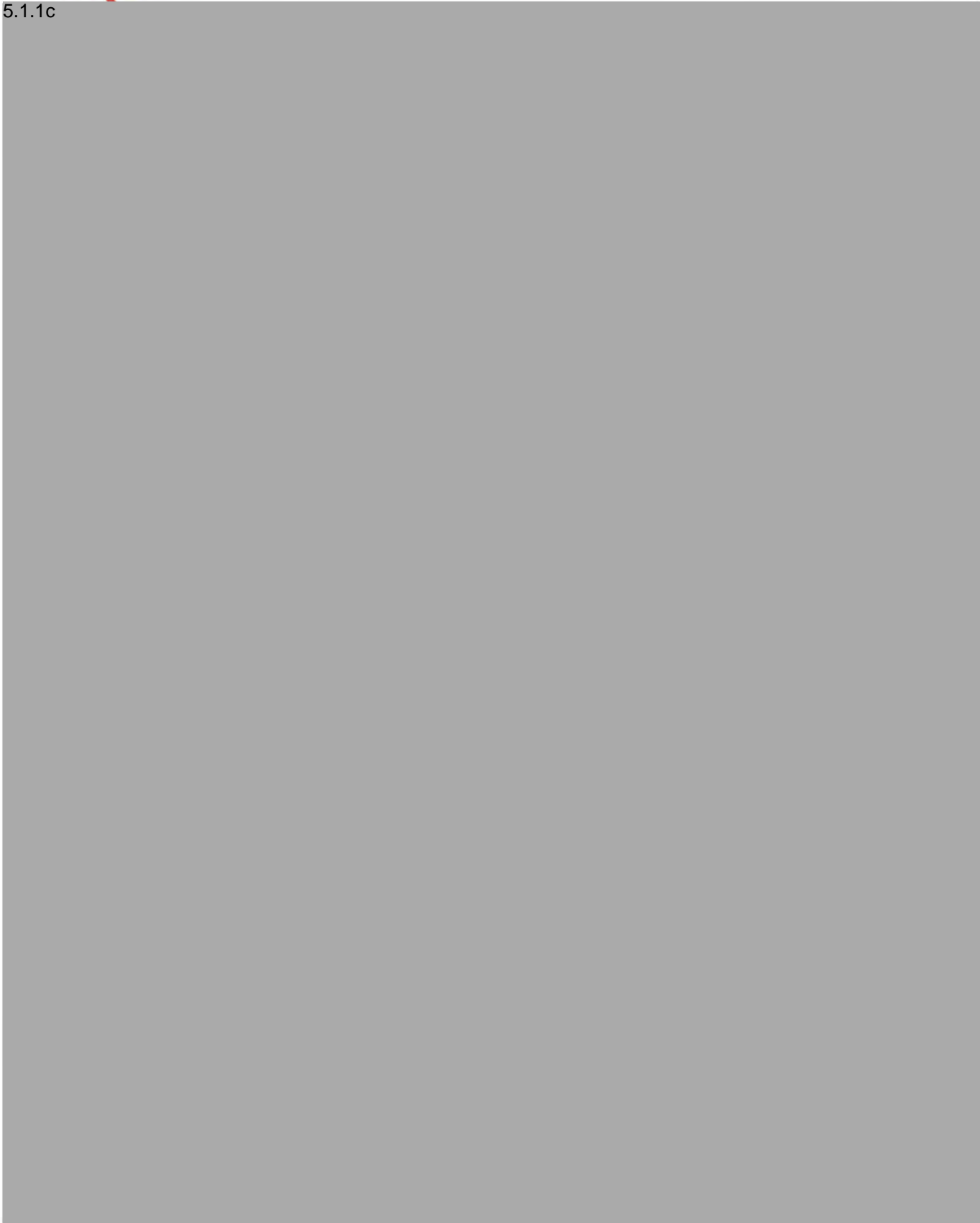


5.1.1c





5.1.1c



Bedrijfsvoering  
VERTROUWELIJK



5.1.1c





## 5 Conclusie

In voorliggend rapport is de status van de ontwerpbasis voor vermoeiing van de KCB geëvalueerd aan de hand van vermoeiingsmonitoring tot SW16.

Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat, naast de lopende activiteiten, één transiënt nader dient te worden geanalyseerd. Deze is opgetreden bij de sproeistomp van hulpsproeileiding TA-warm. Bij het dubbel T-stuk RL/RS van stoomgenerator 1 is eveneens een aantal afwijkende transiënten waargenomen, dat nog nadere analyse behoeft. De lopende activiteiten betreffen vermoeiingsmonitoring, aanpassing van de belastingspecificatie en vermoeiingsanalyse van de volumevereffeningsleiding, en eventuele aanpassing van de bedrijfsvoeringsprocedure voor het voeden van de stoomgeneratoren. Voor de overige componenten is aangetoond dat er momenteel geen additionele maatregelen nodig zijn voor het beheersen van vermoeiing en dat er voldoende marge is voor de toekomstige, gepostuleerde gebeurtenissen.

## Afkortingen

CUF	Cumulative Usage Factor
FAMOS	Fatigue Monitoring System
KCB	Kerncentrale Borssele
LEAF	Load Evaluation Application for Fatigue
LTO	Long Term Operation
PPS	Process Presentation System
RESA	Reactorsnelafschakeling
RL	Hoofd- en noodvoedingswatersysteem
RS	Secundair reservesuppletiesysteem
SW	Splijtstofwissel
TA	Volumeregelsysteem
TJ	Kerninundatie- en nakoelsysteem
TUSA	Turbinesnelafschakeling
UF	Usage Factor
VOB	Verouderingsbeheer
YA	Hoofdkoelmiddelleidingen
YP	Drukhoudersysteem

## Definities

### **Belastingtoestand**

Gebeurtenis die leidt tot wisselende belasting van de installatie, bijvoorbeeld opstarten vanuit nullast koud, afregelen tot nullast koud, reactorsnelafschakeling en turbinesnelafschakeling.

### **Geprojecteerd aantal**

Het gepostuleerde aantal keer optreden van een belastingtoestand tijdens de bedrijfsduur van de installatie.

## Literatuurlijst

- [1] 5.1.2e Vermoeingsanalyse van pijpplaten van recuperatieve warmtewisselaars, Rapport NRG-23629/15.133992, 9-3-2016.
- [2] 5.1.2e Ermüdungsanalyse für das Festpunktformstück des Speisewassersystems RL, Siemens-rapport KWU NDM5/97/1019, KCB, restriktiv, Erlangen, 5-2-1997.
- [3] 5.1., Spannungs- und Ermüdungsanalyse für den Belastungsbereich 1 des Frischdampfsystems RA, Siemens-rapport KWU NDM5/97/1058, KCB, restriktiv, Erlangen, 20-2-1997.
- [4] 5.1.2e, Fatigue Assessment of Double T- Junction RL/RS, Rapport NRG-23629/16.137052, 29-3-2016.
- [5] 5.1.2e, Fatigue Assessment of Surge Line Piping and Nozzles of NPP Borssele, Rapport NRG-23168/13.120169, 14-7-2014.
- [6] 5.1.2e, Druckhaltesystem YP; Sprühstutzen DN80 mit Bogen; Hilfssprühleitung TW; Ermüdungsanalyse, Siemens-rapport KWU NDM6/95/096, KCB, restriktiv, Erlangen, 11-7-1995.
- [7] 5.1.2e, Druckhaltesystem YP; Sprühstutzen DN50 mit Bogen; Hilfssprühleitung TAKalt; Ermüdungsanalyse, Siemens-rapport KWU NDM6/95/136, KCB, restriktiv, Erlangen, 4-8-1995.
- [8] 5.1.2e, Fatigue Assessment of the Spray Nozzle of Auxiliary Spray Line (TA-hot) of NPP Borssele, Rapport NRG-22981/12.113586 Revision 2, 29-6-2016.
- [9] 5.1.2e Fatigue Assessment of Spray Nozzles of Main Spray Lines of NPP Borssele, Rapport NRG-23629/16.138822, 13-7-2016.
- [10] 5.1.2e Abblasebehälter Festigkeitsberechnung (VPU 2), Siemens-rapport KWU NDM6/95/177a, KCB, restriktiv, Erlangen, 20-11-1995.
- [11] 5.1.2e Spannungs- und Ermüdungsanalyse für den DH-Dom und den Anschluß zum oberen Boden des Druckhalters, Siemens-rapport KWU NDM6/96/037, KCB, restriktiv, Erlangen, 4-4-1996.



- [12] 5.1.2 Spannungs- und Ermüdungsanalyse Sprühventile YP001 S041/S042/S043, Siemens-rapport KWU NDM6/96/047, KCB, restriktiv, Erlangen, 15-5-1996.
- [13] 5.1.2e , Sicherheitsventile YP011/012/013 Austrittsseite des Tandem-Ventilgehäuses, Zusatz zur Ermüdungsanalyse, Siemens-rapport KWU NDM5/96/1331, Erlangen, 30-11-1996.
- [14] 5.1.2e Sicherheitsventile YP011/012/013 Festigkeitsnachweis für das Tandem-Ventielgehäuse mit Ermüdungsanalyse, Siemens-rapport KWU NDM6/96/173, KCB, restriktiv, Erlangen, 30-10-1996.
- [15] Detailed Stress Analysis of the Forging in the Main Steam Lines RA001/RA002Z002 in Building 04 (Fixed point at elevation +18.7 m) of the Nuclear Power Plant Borssele, NUCON 452-002, 19-6-1997.
- [16] 5.1.2e Fatigue Assessment of the Volume Control Injection Nozzle (TA/YA) of NPP Borssele, Rapport NRG-23168/13.118340 Revision 2, 29-6-2016.
- [17] 5.1.2e Spannungsanalyse reaktorvatflens Borssele, NUCON RenD87051, Rotterdam, februari 1987.
- [18] 5.1.2e Supplement bij rapport RenD 87051; analyse reaktorvat flens Borssele, NUCON RenD87065, Rotterdam, maart 1987.
- [19] 5.1.2e Berechnung Spannende der Stiftschrauben, RDM 30682-B-005, Rotterdam, 27-1-1971.
- [20] 5.1.2e Analysis of the main closure, RDM 30682-B-007, Rotterdam, 1-2-1972.
- [21] 5.1.2e Analysis of the reactor coolant inlet nozzle, RDM 30682-B-008, Rotterdam, 4-5-1973.
- [22] 5.1.2e Analysis of the reactor coolant outlet nozzles, RDM 30682-B-009, Rotterdam, 4-5-1973.
- [23] 5.1.2e Analysis of the Top Head Nozzles, RDM 30682-B-010, Rotterdam, 2-2-1972.
- [24] 5.1.2e Analysis of the shell transition, RDM 30682-B-013, Rotterdam, 2-3-1972.

- [25] 5.1.2e Analysis of the vessel wall adjacent to the reactor core, RDM 30682-B-014, Rotterdam, 15-2-1972.
- [26] 5.1.2e Berechnungsbericht; Dampferzeuger Borssele: Spannungsanalyse, Zyklenanalyse und Ermüdigungsanalyse, Siemens RT 71/401 3325.1.2 Erlangen, 12-11-1971.
- [27] 5.1.2e Fatigue Assessment of the Feedwater Nozzle of NPP Borssele, Rapport NRG-23450/14.129769, 3-3-2015.
- [28] 5.1.2e Fatigue assessment of the TJ/YA injection nozzle of NPP Borssele, Rapport NRG-23168/11.116851, 13-5-2013.
- [29] 5.1.2e Festigkeitsrechnungen an Reaktorumwälzpumpe Borssele; Deckel und Gehäuse, SULZER 3-403.0002, oktober 1970.
- [30] 5.1.2e Fatigue Assessment of RA Nozzle of the Steam Generator, Rapport NRG-23168/12.116951-Rev1, 28-6-2016.
- [31] 5.1.2e Aanpassing van vermoeiingsanalyse van stoomgeneratoren, NRG-notitie 23629/16.136898 C&S 5.1. /ES, 9-3-2016.
- [32] 5.1.2e, Spanningsanalyse aan TJ-stomp op YA002Z001, Rapport Schelde Gears SGCE 01 015, 28-8-2001.
- [33] 5.1.2e Additional Fatigue Assessment of Surge Line Nozzle at Main Coolant Line of NPP Borssele, Rapport NRG-23628/15.132002, 8-5-2015.
- [34] 5.1.2e Lastfallkatalog für das Nukleare Dampferzeugungssystem (Lastfälle, Häufigkeiten, Beanspruchungsstufen), Siemens rapport KWU E411/93/2005b, Erlangen, 26-1-1993.
- [35] 5.1.2e LTO Demonstration of Fatigue TLAAAs, LTO of NPP Borssele, Rapport NRG-22488/11.106369 Revision 1, 30-5-2012.
- [36] 5.1.2e Scope of Fatigue TLAAAs, Rapport NRG-22488/11.106370, 14-4-2011.
- [37] Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants, Safety Report Series No. 57, International Atomic Energy Agency, Vienna, oktober 2008.



- [38] 5.1.2e [REDACTED], Application of NUREG/CR-5999 Interim Fatigue Curves to Selected Nuclear Power Plant Components, NUREG/CR-6260, 1995.
- [39] 5.1.2e [REDACTED], Assessment of Fatigue TLAAAs, Rapport NRG 22488/11.106371, 30-5-2012.
- [40] 5.1.2e [REDACTED] Effects of LWR Coolant Environments on Fatigue Design Curves of Austenitic Stainless Steels, Technical Report NUREG/CR-5704, ANL-98/31, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 4-1999.
- [41] 5.1.2e [REDACTED] Effects of LWR Coolant Environments on Fatigue Design Curves of Carbon and Low-Alloy Steels, Technical Report NUREG/CR-6583, ANL-97/18, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2-1998.
- [42] 5.1.2e [REDACTED], International Experience of Fatigue TLAAAs, LTO of NPP Borssele, Rapport NRG-22488/11.106372 Revision 1, 30-5-2012.
- [43] 5.1.2e [REDACTED] Belastingcatalogus voor vermoeiing, Kerncentrale Borssele, Rapport NRG-23628/14.129721, 16-12-2015.
- [44] 5.1.2e [REDACTED], Transiëntenrapport over periode 1973 t/m december 2014, EPZ-rapport KTE5.1.2e [REDACTED] R 156084, 9-2-2015.
- [45] 5.1.2e [REDACTED], Belastingverificatie met PPS-data van de vermoeiingslocaties zonder FAMOS-metingen, NRG-notitie 23628/15.131152 C&S5.1.2/ES, 16-12-2015.
- [46] E-mail van 5.1.2e [REDACTED] aan 5.1.2e [REDACTED] en 5.1.2e [REDACTED], Onderwerp: Belastingtoestanden cyclus 2015-2016, 13-1-2017, 17:17.
- [47] 5.1.2e [REDACTED], Vermoeiingsanalyse van pijpplaten van recuperatieve warmtewisselaars, Rapport NRG-23629/15.133992, 9-3-2016.
- [48] 5.1.2e [REDACTED], Load Specification for New Fatigue Analysis of Surge Line Piping and Nozzles, Rapport NRG-23168/13.120116, 10-1-2014.
- [49] 5.1.2e [REDACTED] Measured temperature transients and load specification for spray nozzles of TA-hot, NRG-notitie 22981/12.114312 Revision 1 S&P5.1.2 [REDACTED], 30-6-2016.



- [50] 5.1.2e , Load Specification for Spray Nozzles of Main Spray Lines, Rapport NRG-23629/16.138737, 13-7-2016.
- [51] 5.1.2e , Load specification for the TA/YA nozzle, NRG-notitie 23168/12.116864 Revision 1 S&P 5.1.2/MH, 30-6-2016.
- [52] 5.1.2e , Load Specification for New Fatigue Analysis of Feedwater Nozzle at Steam Generator, Rapport NRG-23450/14.129769, 3-3-2015.
- [53] 5.1.2e , Load specification for the TJ/YA injection nozzle, Rapport NRG-23168/12.116838, 12-11-2012.
- [54] 5.1.2e , Load Specification for Double T-Junction RL/RS, Rapport NRG-23629/15.135382, 29-3-2016.
- [55] 5.1.2e (EPZ), Brief aan 5.1.2e (ANVS), KTE 5.1.2e /B16 0778, 30-6-2016.
- [56] E-mail van 5.1.2e aan 5.1.2e , Onderwerp: Aanvulling TUSAs.xlsx, 13-1-2015, 10:51.

5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c





5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c





5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c

