

Jaarrapport vermoeiingsmonitoring

Status tot SW20

In opdracht van **N.V. EPZ**

Vertrouwelijk

Revisietabel

rev.	datum	omschrijving

Auteurs(s):	5.1.2e	Beoordeeld:	5.1.2e
		Goedgekeurd:	
Referentienr:	NRG-24511/21.218506	Status:	
61 Pagina's	3 november 2021		

NRG Petten
Westerduinweg 3
P.O. Box 25
1755 ZG Petten
The Netherlands

NRG Arnhem
Utrechtseweg 310 - B50-West
P.O. Box 9034
6800 ES Arnhem
The Netherlands

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.

Voor de meeste componenten is aangetoond dat de nieuwe ontwerpbasis voor vermoeiing afdekkend is voor de opgetreden gebeurtenissen en dat er naast vermoeiingsmonitoring momenteel geen additionele maatregelen nodig zijn voor het beheersen van vermoeiing. Componenten waar temperatuurwisselingen zijn gemeten die niet worden afgedekt door de vermoeiingsanalyse, dienen nader te worden geanalyseerd. Hiervoor zijn de volgende acties gedefinieerd:

1. Uitsluiten high-cycle thermal fatigue ter plaatse van leidingen TJ030Z005 en TJ030Z010
2. Analyse van afwijkende temperatuurwisseling bij de sproeistomp van hulpsproeileiding TA-warm
3. Analyse van stratificatie bij de dubbele T-stukken RL/RS
4. Onderzoek naar de mogelijkheden om de vermoeiingsbelastingen op de dubbele T-stukken RL/RS te reduceren
5. Analyse van de temperatuurwisselingen bij de voedingswaterstompen op de stoomgeneratoren

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
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	Hervalidatie van vermoeiingsanalyses	14
2.3.4	Vermoeiingsmonitoring met behulp van FAMOS	15
2.3.5	Nieuwe ontwerpbasis vermoeiing	17
3	Methodiek voor vermoeiingsmonitoring	19
3.1	Vermoeiingsbeheersing	19
3.2	Controle opgetreden aantallen belastingtoestanden	21
3.3	Controle thermische belastingwisselingen	22
3.4	Integriteit van de installatie	24
4	Resultaten van vermoeiingsmonitoring	25
4.1	Controle opgetreden aantallen belastingtoestanden	25
4.2	Controle thermische belastingwisselingen	32
4.2.1	Pijpplaten van recuperatieve warmtewisselaars	32
4.2.2	Volumevereffeningsleiding (inclusief stompen)	33
4.2.3	Sproeistomp van hulpsproeileiding TA-warm	34
4.2.4	Sproeistompen van sproeileidingen YP	37
4.2.5	TA/YA-stompen	38
4.2.6	Voedingswaterstompen op stoomgeneratoren	39
4.2.7	TJ/YA-injectiestompen	39
4.2.8	Dubbele T-stukken RL/RS	40

4.2.9	Conclusie	41
5	Maatregelen voor vermoeingsmonitoring	43
5.1	Uitgevoerde maatregelen	43
5.2	Te nemen maatregelen	46
6	Gebruiksfactoren voor vermoeing	49
7	Conclusie	52
	Afkortingen	53
	Definities	53
	Referentielijst	54
Bijlage A	Opgetreden aantallen belastingtoestanden	59

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 splijtstofwissel van 2020 (SW20).

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. De resultaten en evaluatie van de resultaten tot SW20 worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de uitgevoerde en te nemen maatregelen beschreven. In hoofdstuk 6 wordt een overzicht gepresenteerd van de gebruiksfactoren voor vermoeiing. Ten slotte wordt in hoofdstuk 7 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 de gebruikte 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 (3-1984 en 6-1996)

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

5.1.1c

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). 5.1.1c



5.1.1c



Figuur 2 Ontwerpbasis voor vermoeiing

5.1.1c



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 [33].

In het kader van het verlengen van de ontwerpbedrijfsduur naar 60 jaar is de oorspronkelijke ontwerpbasis voor vermoeiing gehervalideerd 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 vermoeiingsanalyses [38]

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

Laatste ontwikkelingen

Tijdens cyclus 2019-2020 zijn er geen relevante externe meldingen ontvangen met betrekking tot thermische vermoeiing van leidingen en andere passieve componenten. 5.1.

1c

[Redacted text block]

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 gehervalideerd te worden om 60 jaar in plaats van 40 jaar af te dekken. Deze hervalidatie heeft plaatsgevonden als onderdeel [37] 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 hervalideren voor 2034. Er is echter besloten om onafhankelijk van de bestaande bewijsvoering een nieuwe inventarisatie van componenten/locaties uit te voeren [38]. 5.1.1c

5.1.1c

5.1.1c



Tabel 1 Scope voor vermoeiing [38]

5.1.1c

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

2.3.3 Hervalidatie van vermoeiingsanalyses

Na het vaststellen van de scope, zijn de vermoeiingsanalyses gehervalideerd 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. Lange tijd werd aangenomen dat de invloed van het medium in voldoende mate meegenomen 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 [34]. Voor de hervalidatie 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 [33] 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, uitgaande van een grenswaarde van 0.2 voor austenitisch staal en 0.4 voor ferritisch staal, zoals opgenomen in de KTA van 2011. 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 [42] voor austenitisch staal en NUREG/CR-6583 [43] 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" [41]. 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.

Ontwikkelingen na hervalidatie

In de meest recente versies van de ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, KTA 3201.2 en KTA 3211.2 is de vermoeiingscurve van austenitisch staal aangepast. In het hoogcyclische gebied is de nieuwe curve conservatiever dan de oude curve en in het laag-

cyclische gebied is de nieuwe curve minder conservatief dan de oude curve. Bij de componenten in de vermoeiingsscope gaat het voornamelijk om laag-cyclische vermoeiing en hoge spanningen. Het gebruik van de oude vermoeiingscurve is in dat geval conservatief. Voor consistentie zijn voor het hervalideren van de vermoeiingsanalyses dezelfde vermoeiingscurves gebruikt als gebruikt voor de oorspronkelijke vermoeiingsanalyses.

In de recentste versies van KTA 3201.2 en KTA 3211.2 is de grenswaarde voor screening voor environmental fatigue 0.4. In de versies gebruikt voor de hervalidatie van de vermoeiingsanalyses zijn deze grenswaarden 0.2 voor austenitisch staal en 0.4 voor ferritisch staal. Het gebruik van een grenswaarde van 0.2 voor austenitisch staal is dus conservatiever dan de huidig voorgeschreven grenswaarde van 0.4.

Laatste ontwikkelingen

De formules voor het berekenen van de environmental fatigue correctiefactoren zijn in de nieuwste versies van de NUREG-richtlijnen (NUREG/CR-6909 en NUREG/CR-6909, Rev. 1) gewijzigd ten opzichte van de NUREG-documenten gebruikt voor de hervalidatie van de vermoeiingsanalyses (NUREG/CR-5704 en NUREG/CR-6583). In PVP-artikel [44] is voor een specifiek voorbeeld aangetoond dat de voor de hervalidatie van de vermoeiingsanalyses gebruikte aanpak voor environmental fatigue tot conservatievere resultaten leidt dan die van de recentere NUREG/CR-6909, Rev. 1 (concept, maart 2014).

In mei 2018 is de definitieve versie van NUREG/CR-6909, Rev. 1 verschenen. De vermoeiingscurves en de environmental fatigue correctiefactoren voor koolstof- en laaggelegeerde stalen zijn in deze versie hetzelfde als in de conceptversie (2014). Hetzelfde geldt voor de vermoeiingscurves voor austenitische roestvaste stalen. De getransformeerde reksnelheid voor de environmental fatigue correctiefactoren voor austenitische roestvaste stalen wordt in definitieve versie (2018) echter op een andere manier bepaald dan in de conceptversie (2014). De environmental fatigue correctiefactoren op basis van de conceptversie (2014) van NUREG/CR-6909, Rev. 1 zijn conservatiever dan op basis van de definitieve versie (2018). Aangezien de KCB-aanpak voor het in [44] beschouwde voorbeeld conservatiever is dan de aanpak volgens de conceptversie (2014) van NUREG/CR-6909, Rev. 1, is deze dus ook conservatiever dan de aanpak volgens de definitieve versie (2018).

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 uitstroming. 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 [33] 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 [45]. 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 gehervalideerde belastingspecificaties en de gehervalideerde vermoeiingsanalyses. De nieuwe ontwerpbasis vormt het uitgangspunt voor de vermoeiingsmonitoring zoals beschreven in hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4.

3 Methodiek voor vermoeiingsmonitoring

3.1 Vermoeiingsbeheersing

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

5.1.1c

A large rectangular area of the page is completely redacted with a solid grey color, obscuring all text and graphics that would otherwise be present.

5.1.1c

A second large rectangular area of the page is completely redacted with a solid grey color, obscuring all text and graphics that would otherwise be present.

5.1.1c



5.1.1c



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

3.2 Controle opgetreden aantallen belastingtoestanden

In de belastingcatalogus voor vermoeiing [45] zijn de tot en met 2034 geprojecteerde aantallen voor de verschillende belastingtoestanden gespecificeerd. 5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



Figuur 6 Voorbeeld van geteld versus geprojecteerd aantal belastingtoestanden (opstarten vanuit nullast koud)

Marges

5.1.1c



5.1.1c

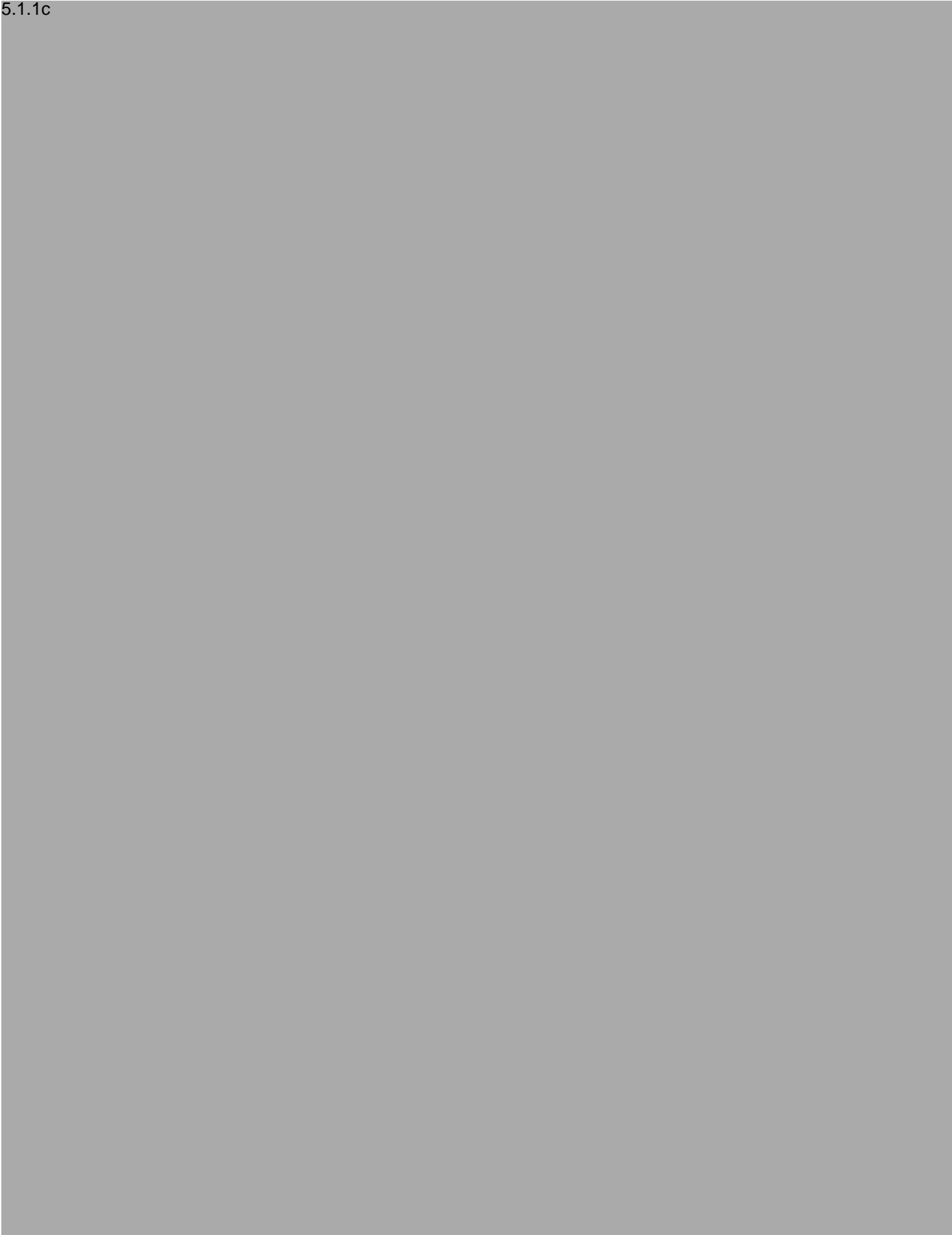


5.1.1c

5.1.1c

5.1.1c

5.1.1c



5.1.1c



4 Resultaten van vermoeiingsmonitoring

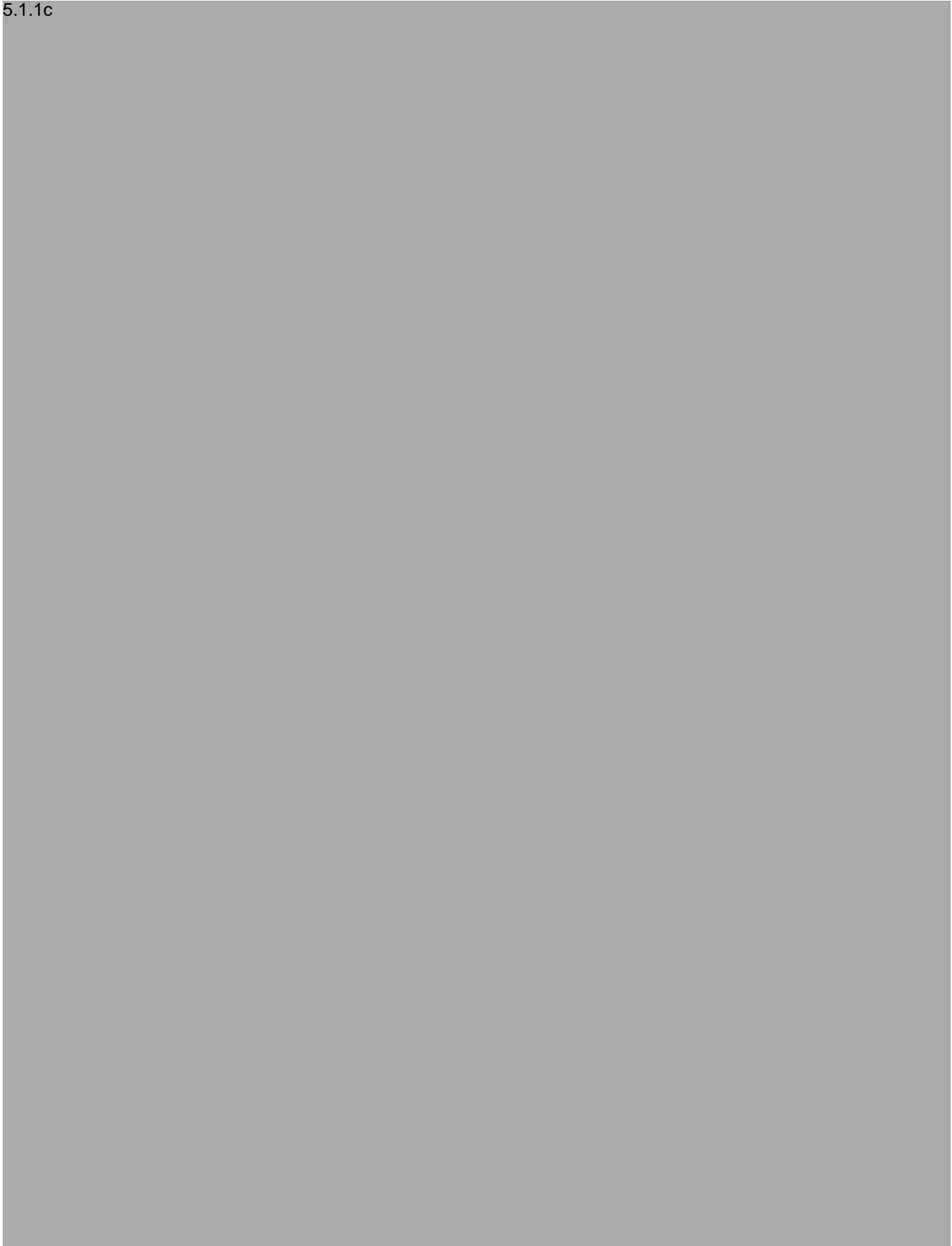
In dit hoofdstuk wordt de controle van de opgetreden aantallen belastingtoestanden en de controle van de thermisch belastingwisselingen gepresenteerd.

4.1 Controle opgetreden aantallen belastingtoestanden

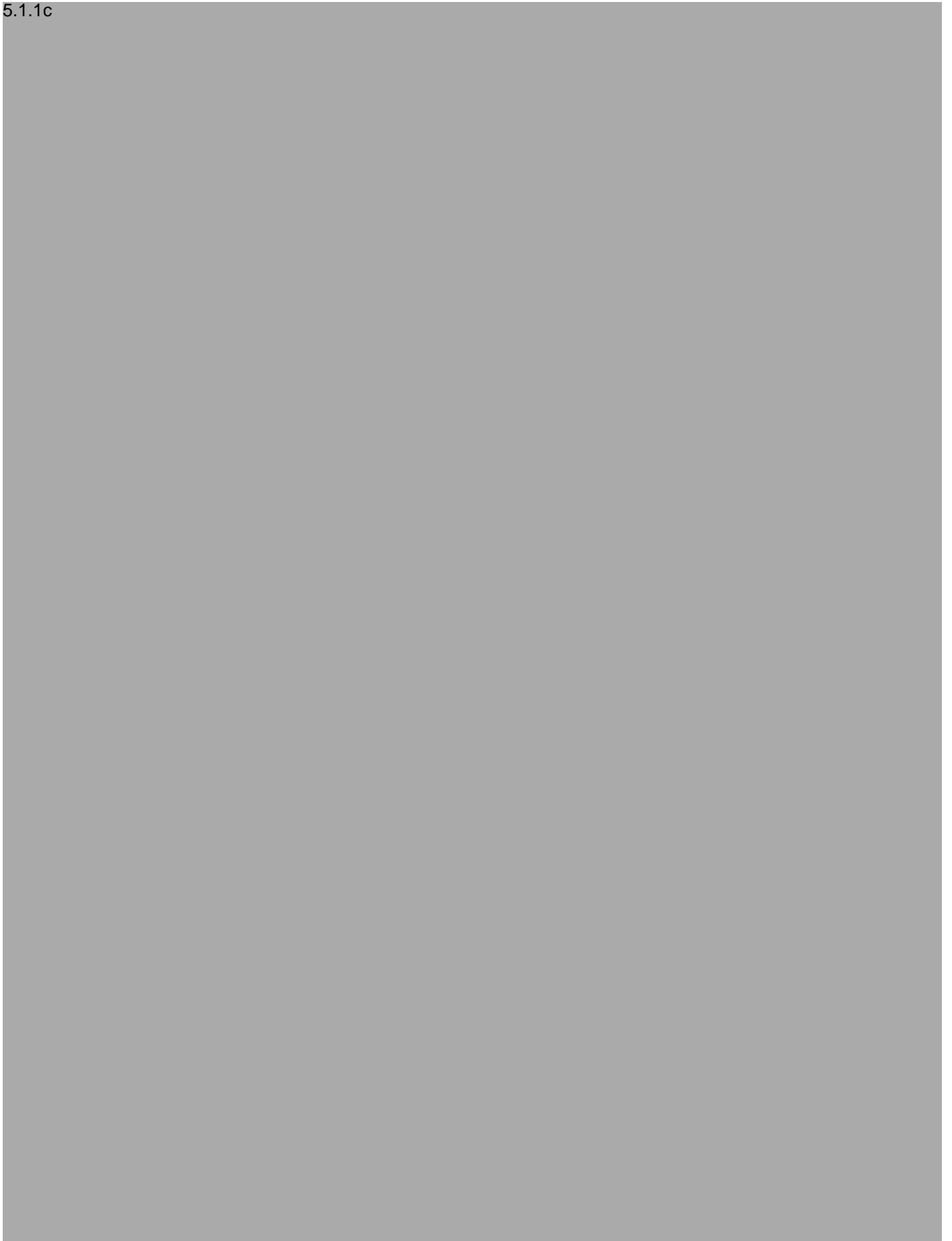
Tabel 3 toont de belastingtoestanden die zijn opgetreden tijdens cyclus 2019-2020. Samen met de tellingen tot SW19 (bijlage A) leidt deze informatie tot de totaal getelde aantallen in Tabel 4. In Figuur 8 en Figuur 9 wordt de informatie uit Tabel 4 grafisch weergegeven.

5.1.1c

5.1.1c



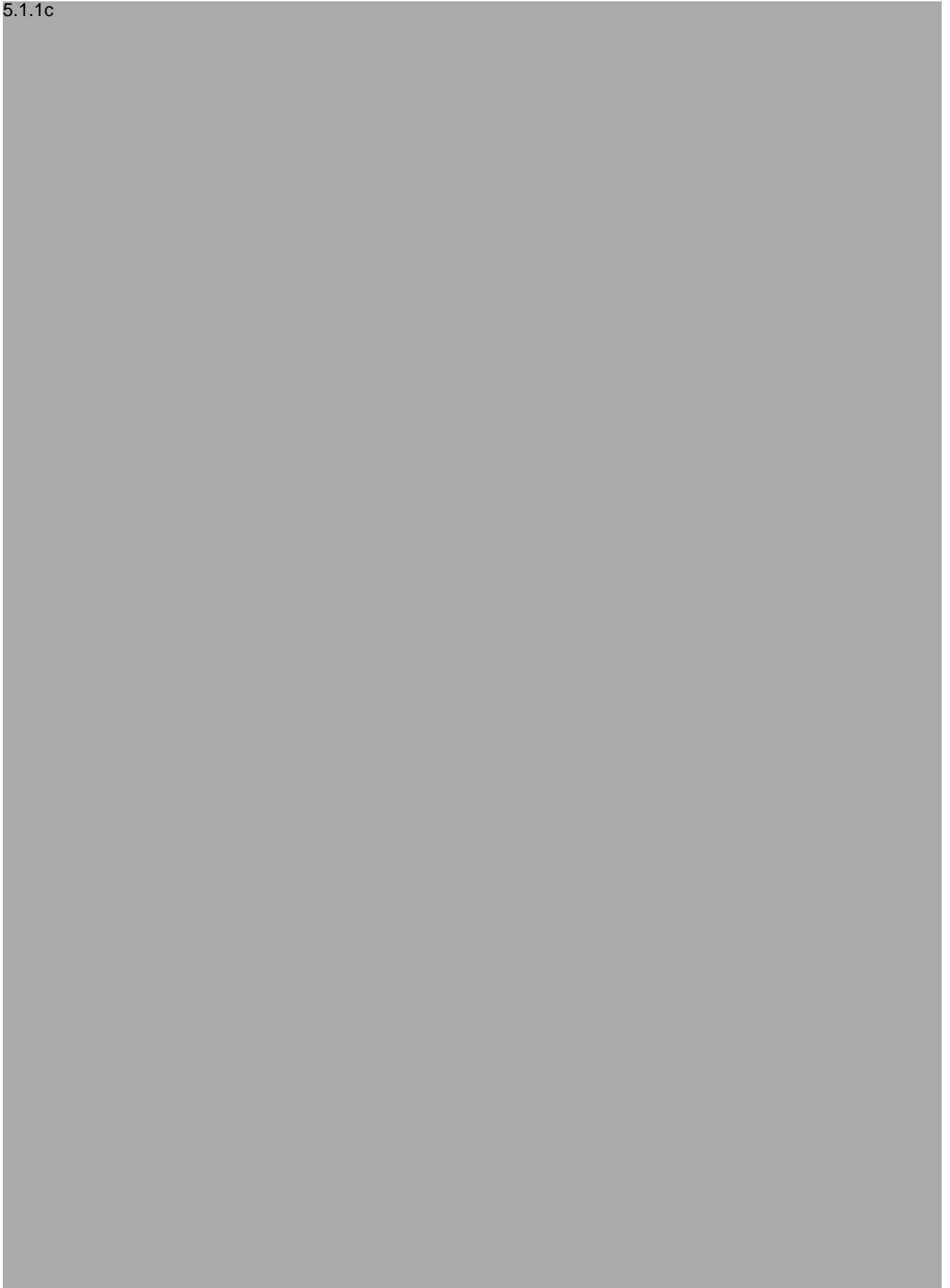
5.1.1c



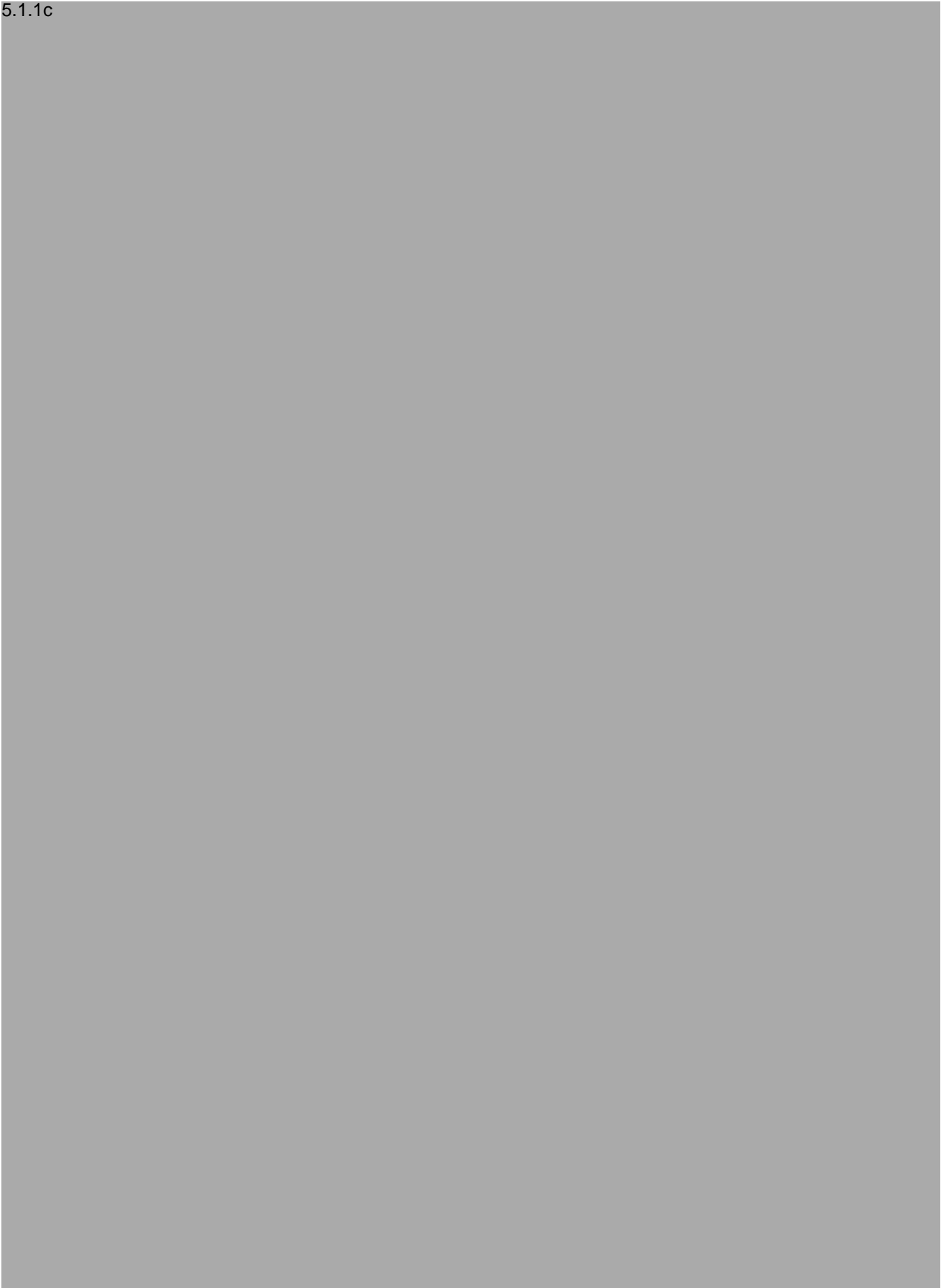
5.1.1c



5.1.1c

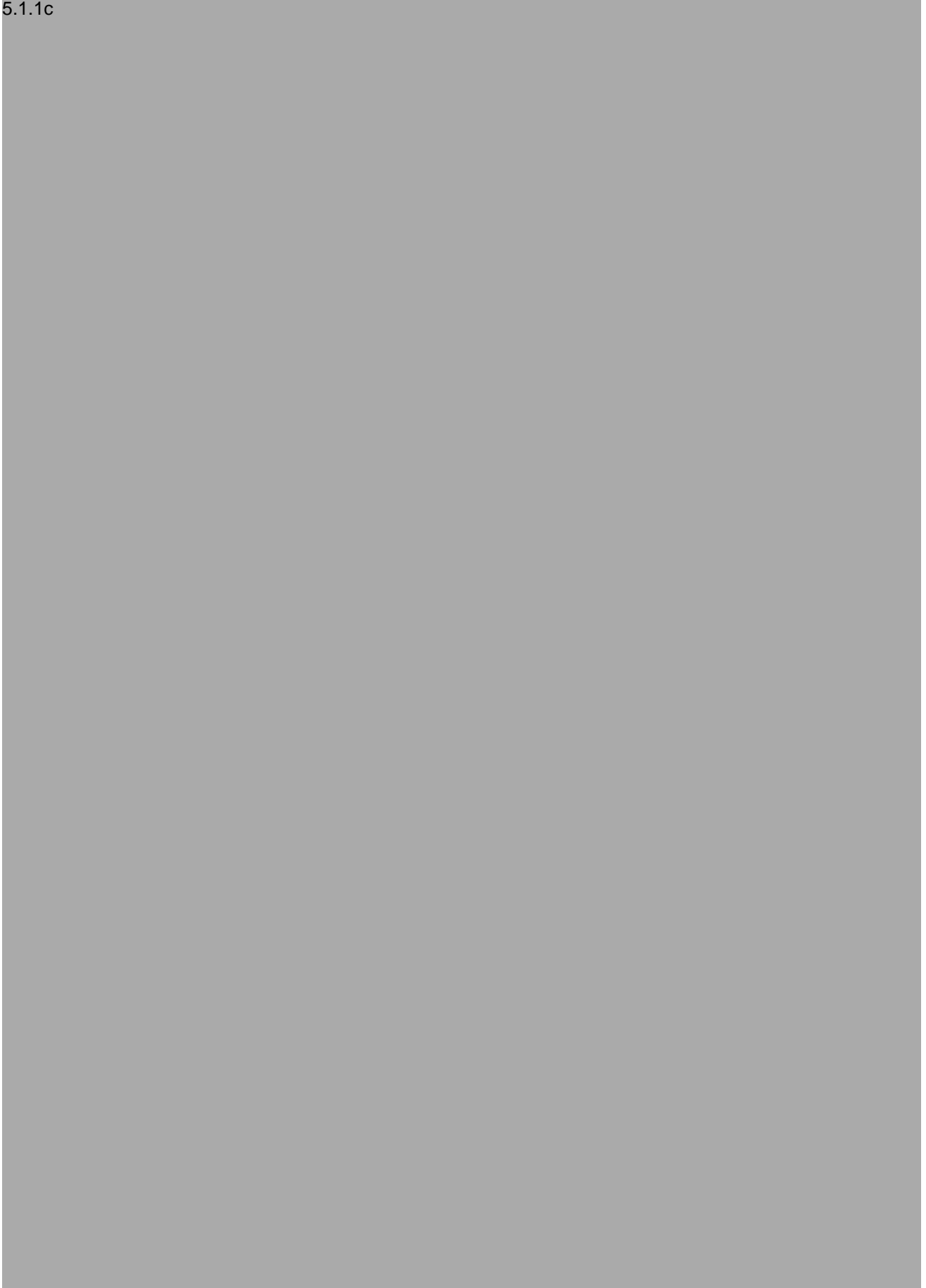


5.1.1c



5.1.1c

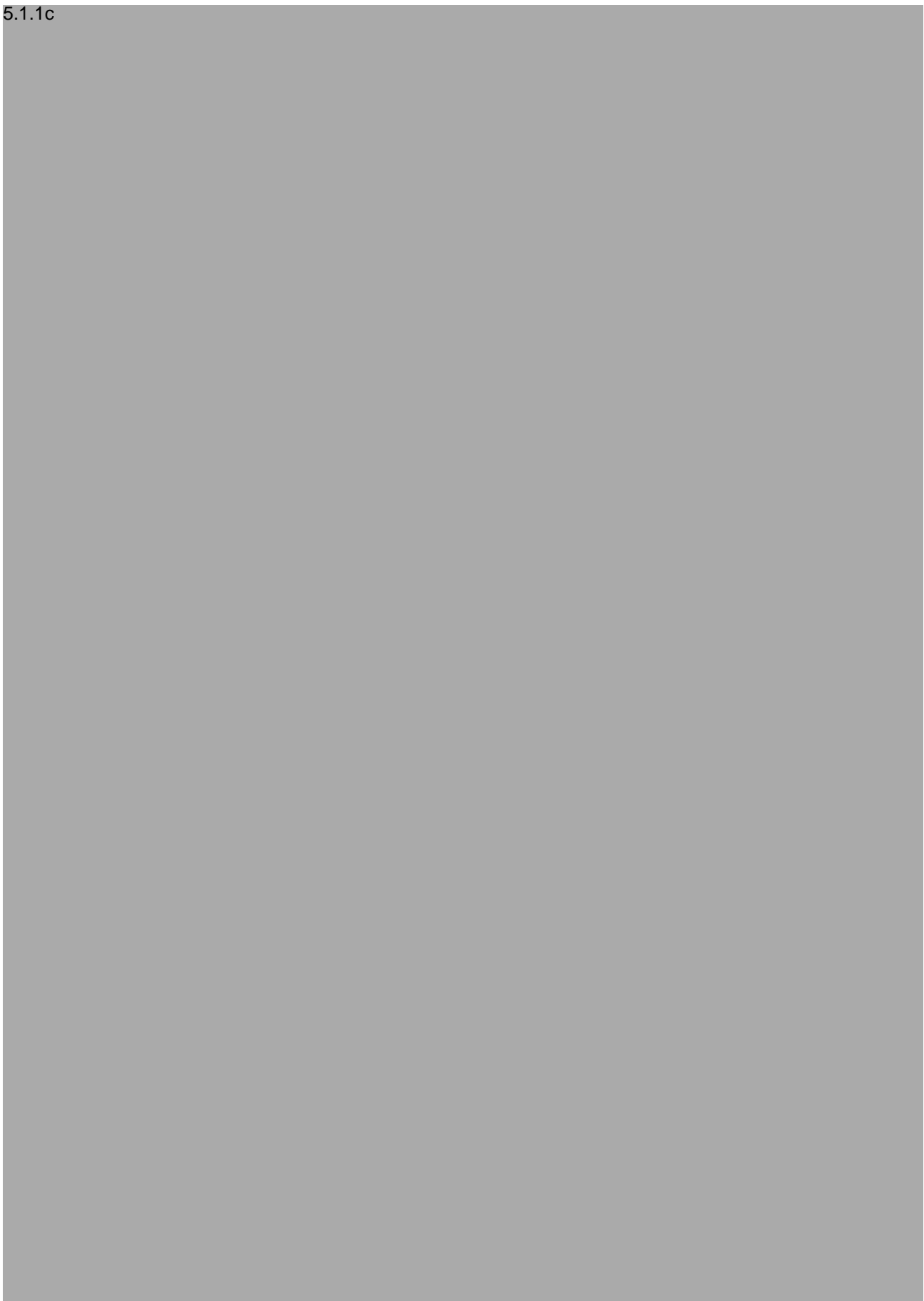
5.1.1c



5.1.1c

5.1.1c

5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



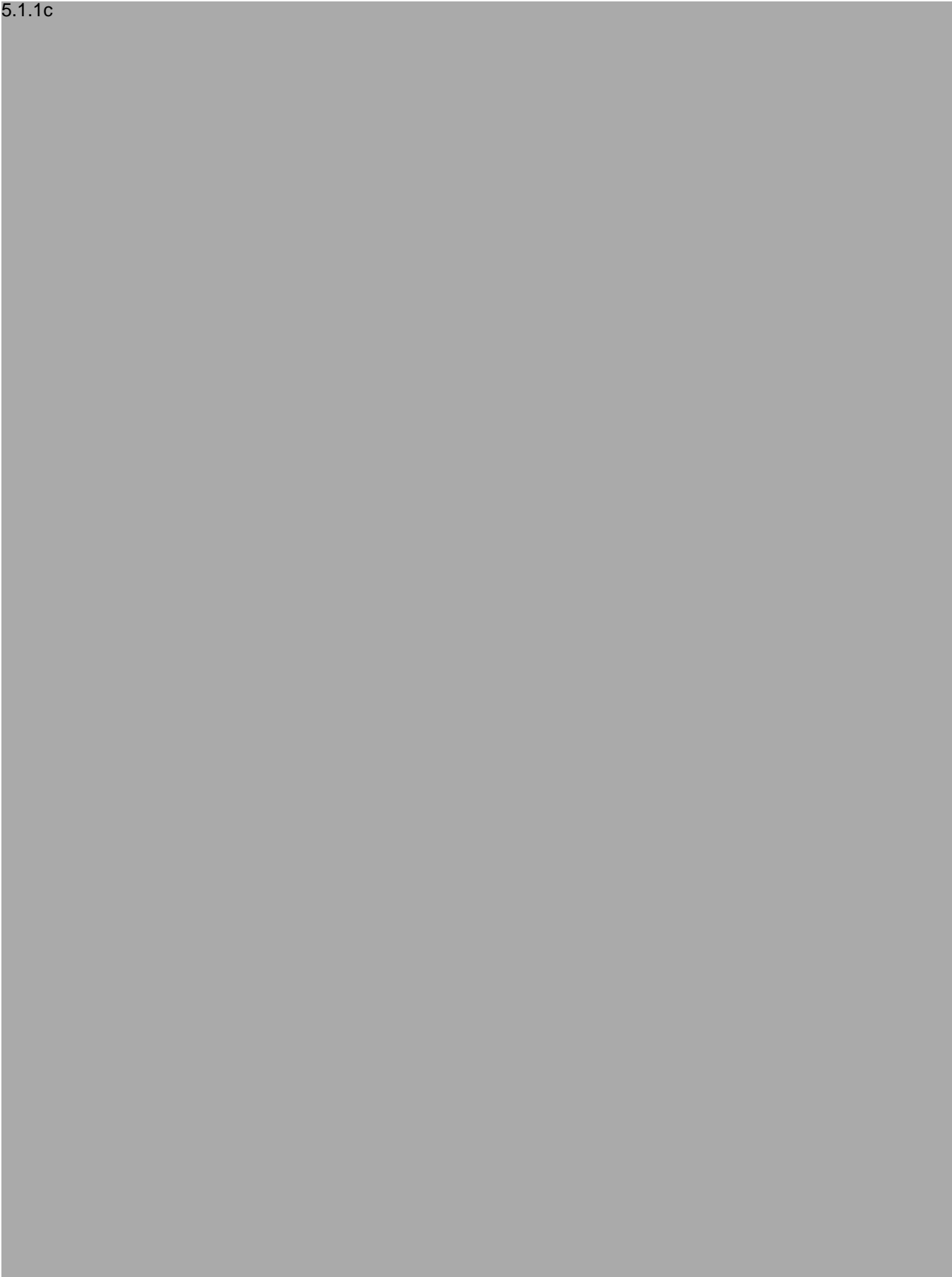
5.1.1c



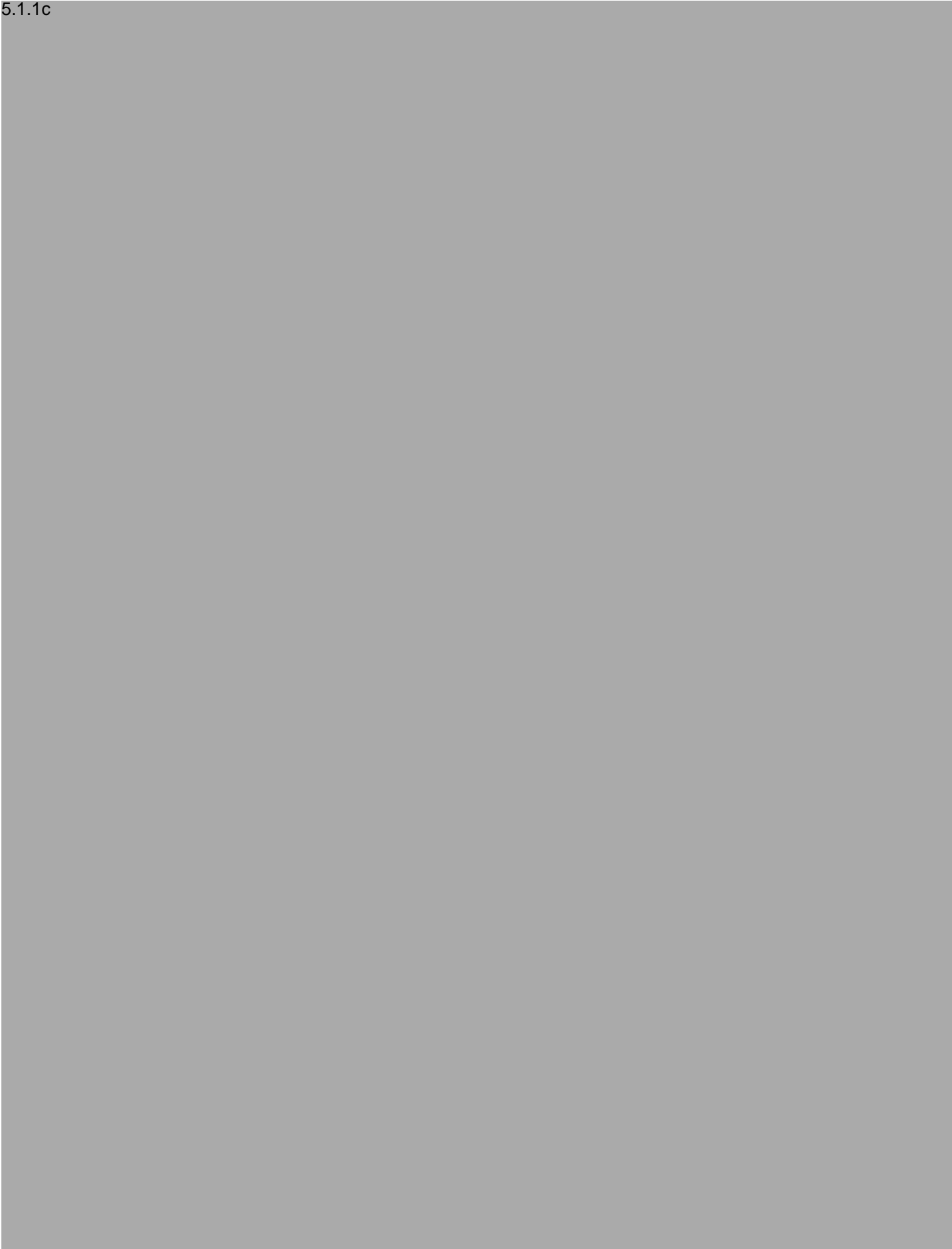
5.1.1c



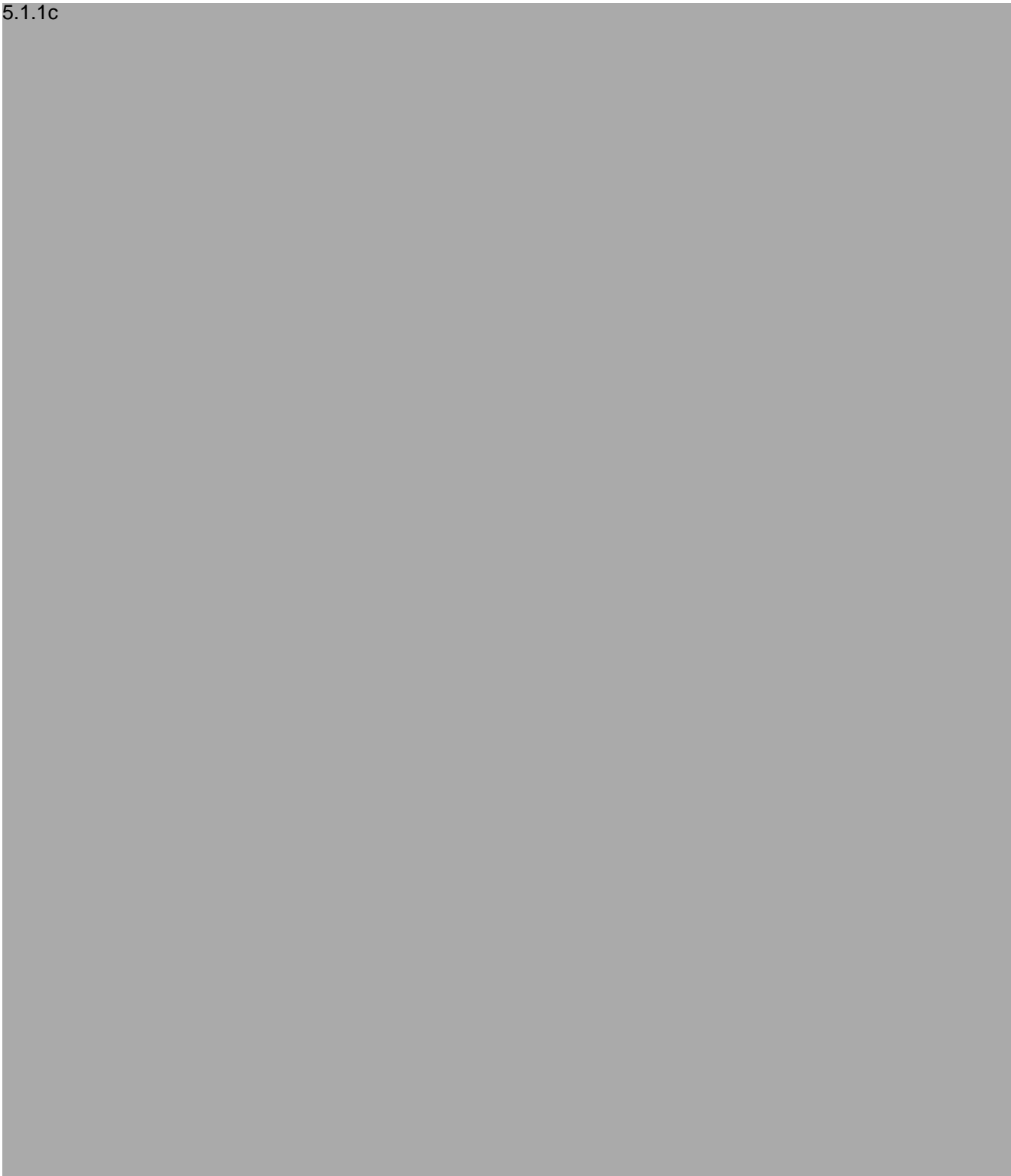
5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c



5 Maatregelen voor vermoeiingsmonitoring

5.1 Uitgevoerde maatregelen

In deze paragraaf worden de tijdens cyclus 2019-2020 uitgevoerde maatregelen met betrekking tot vermoeiingsbeheersing beschreven. De nummers van de acties refereren naar het jaarrapport vermoeiingsmonitoring tot SW19 [56] (zie ook Tabel 6).

Tabel 6 Acties uit jaarrapport vermoeiingsmonitoring tot SW19 [56]

5.1.1c

A large, solid grey rectangular area covers the majority of the page, indicating that the content of Table 6 has been redacted. To the right of this area, a vertical column of empty rectangular boxes is visible, likely representing the table's structure or a placeholder for data.

5.1.1c



5.1.1c



5.1.1c

5.2 Te nemen maatregelen

Zoals in hoofdstuk 4 is beschreven, is voor de meeste componenten aangetoond dat de cumulatieve gebruiksfactor kleiner is dan 1 en de toelaatbare grenswaarde voor environmental fatigue. Dit betekent dat voor deze componenten geen verdere maatregelen nodig zijn, naast de bestaande vermoeiingsmonitoring. De onderdelen waarvoor wel verdere maatregelen nodig zijn, worden hieronder besproken (zie ook Tabel 7).

5.1.1c



5.1.1c



6 Gebruiksfactoren voor vermoeiing

Sinds de totstandkoming van de nieuwe ontwerpbasis (zie paragraaf 2.3.5) zijn op een aantal locaties temperatuurwisselingen gemeten die afwijken van de temperatuurwisselingen in de belastingspecificaties van de verschillende componenten. Voor enkele van deze temperatuurwisselingen zijn additionele analyses uitgevoerd om de invloed van de afwijkingen op de vermoeiingsanalyses te beoordelen. Tabel 9 toont een overzicht van de additioneel uitgevoerde analyses.

In enkele gevallen hebben de additionele analyses geleid tot een toename van de gebruiksfactor tot 2034. Tabel 8 geeft een overzicht van de maximale cumulatieve gebruiksfactoren tot 2034 op de locaties die jaarlijks worden gemonitord.

5.1.1c

5.1.1c

5.1.1c



7 Conclusie

In voorliggend rapport is de status van de ontwerpbasis voor vermoeiing van de KCB geëvalueerd aan de hand van vermoeiingsmonitoring tot SW20.

Uit de resultaten volgen de volgende acties:

1. Uitsluiten high-cycle thermal fatigue ter plaatse van leidingen TJ030Z005 en TJ030Z010
2. Analyse van afwijkende temperatuurwisseling bij de sproeistomp van hulpsproeileiding TA-warm
3. Analyse van stratificatie bij de dubbele T-stukken RL/RS
4. Onderzoek naar de mogelijkheden om de vermoeiingsbelastingen op de dubbele T-stukken RL/RS te reduceren
5. Analyse van de temperatuurwisselingen bij de voedingswaterstompen op de stoomgeneratoren

Voor de overige componenten is aangetoond dat er naast vermoeiingsmonitoring 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.

Referentielijst

- [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] 5.1.2 , 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 Revision 1, 27-5-2020.
- [5] 5.1.2e , Fatigue Assessment of Surge Line Piping and Nozzles of NPP Borssele, Rapport NRG-23629/17.143227, 23-6-2017.
- [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 3, 2-3-2021.
- [9] 5.1.2e , Fatigue Assessment of Spray Nozzles of Main Spray Lines of NPP Borssele, Rapport NRG-23629/17.143359, 23-5-2017.
- [10] 5.1.2e , Ablasebehälter Festigkeitsberechnung (VPU 2), Siemens-rapport KWU NDM6/95/177a, KCB, restriktiv, Erlangen, 20-11-1995.
- [11] 5.1.2e 5 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-Ventilgehäuse mit Ermüdungsanalyse, Siemens-rapport KWU NDM6/96/173, KCB, restriktiv, Erlangen, 30-10-1996.

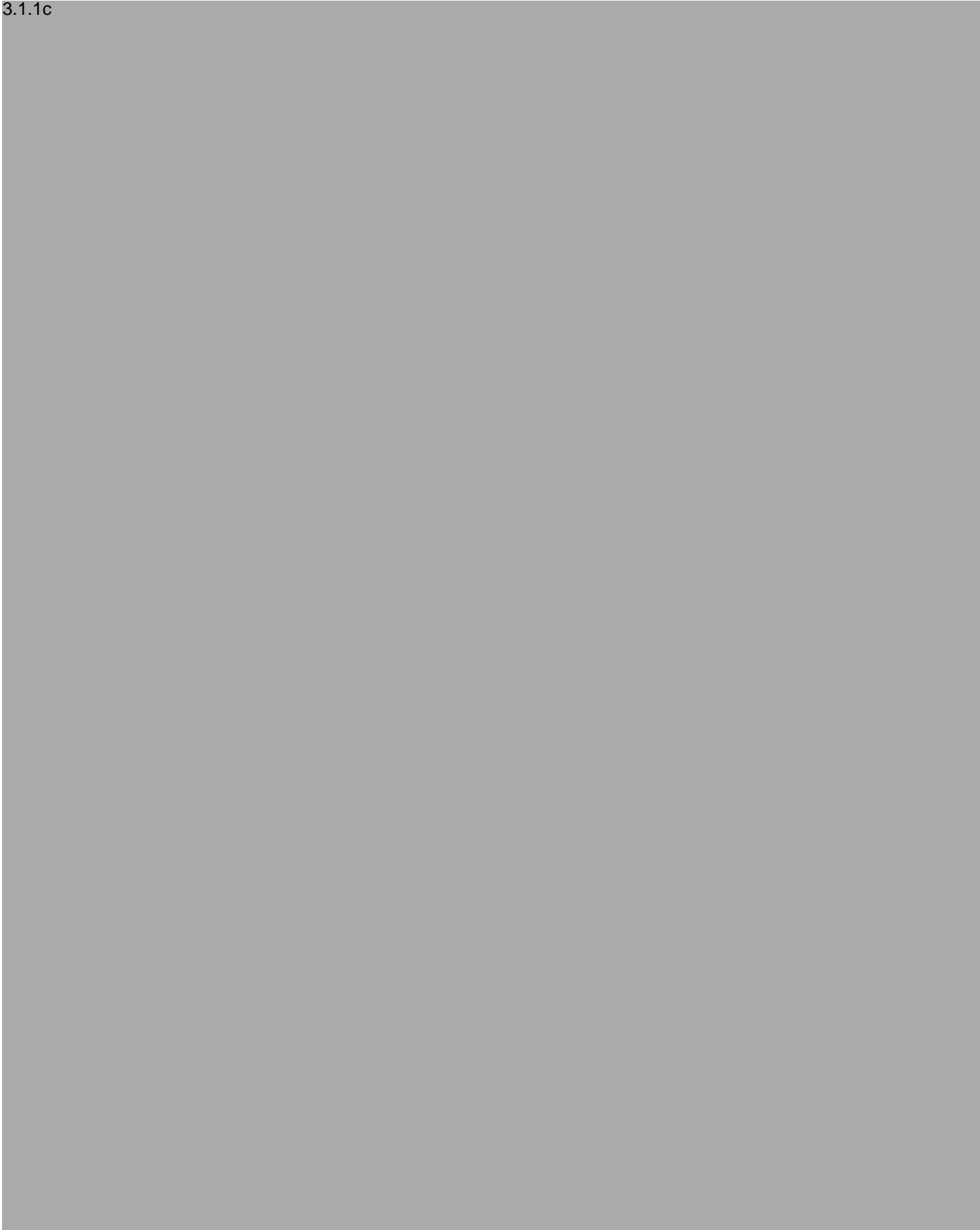
- [15] Detailed Stress Analysis of the Forging in the Main Steam Lines RA001/RA002Z002 in Building 04 (Fixed point at elevation +18.7 m) of the Nuclear Power Plant Borssele, NUCON 452-002, 19-6-1997.
- [16] 5.1.2e ██████████, Fatigue Assessment of the Volume Control Injection Nozzle (TA/YA) of NPP Borssele, Rapport NRG-23168/13.118340 Revision 2, 29-6-2016.
- [17] 5.1.2e ██████████, Spanningsanalyse reactorvatflens Borssele, NUCON RenD87051, Rotterdam, februari 1987.
- [18] 5.1.2e ██████████ Supplement bij rapport RenD 87051; analyse reactorvat 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 71/401 332/5.1, 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] Rappe, Lastfallkatalog für das Nukleare Dampferzeugungssystem (Lastfälle, Häufigkeiten, Beanspruchungsstufen), Siemens rapport KWU E411/93/2005b, Erlangen, 26-1-1993.
- [34] 5.1.2e ██████████ International Experience of Fatigue TLAAs, LTO of NPP Borssele, Rapport NRG-22488/11.106372 Revision 1, 30-5-2012.
- [35] TIERS/4NT/0709428/000/01, VGB: Thermal Fatigue Evaluation
- [36] 5.1.2e ██████████, Ontwerpevaluatie van KCB volgens screeningscriteria MRP-146 Rev2, EPZ-rapport KTE5.1.2e ██████████/R211349, 27-7-2021 (concept).
- [37] 5.1.2e ██████████, LTO Demonstration of Fatigue TLAAs, LTO of NPP Borssele, Rapport NRG-22488/11.106369 Revision 1, 30-5-2012.
- [38] 5.1.2e ██████████, 5.1.2e ██████████, Scope of Fatigue TLAAs, Rapport NRG-22488/11.106370, 14-4-2011.
- [39] Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants, Safety Report Series No. 57, International Atomic Energy Agency, Vienna, oktober 2008.
- [40] 5.1.2e ██████████, Application of NUREG/CR-5999 Interim Fatigue Curves to Selected Nuclear Power Plant Components, NUREG/CR-6260, 1995.
- [41] 5.1.2e ██████████, Assessment of Fatigue TLAAs, Rapport NRG-22488/11.106371 Revision 1, 30-5-2012.
- [42] 5.1.2e ██████████, 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.
- [43] 5.1.2e ██████████, 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.
- [44] 5.1.2e ██████████, Quantitative comparison of environmental fatigue methods, PVP2015-45027, In Proceedings of the ASME 2015 Pressure Vessels & Piping Division Conference, Boston (MA), Verenigde Staten, 2015.
- [45] 5.1.2e ██████████, Belastingcatalogus voor vermoeiing, Kerncentrale Borssele, Rapport NRG-23628/14.129721, 16-12-2015.
- [46] 5.1.2e ██████████, Transiëntenrapport over periode 1973 t/m december 2014, EPZ-rapport KTE5.1.2e ██████████/R 156084, 9-2-2015.
- [47] 5.1.2e ██████████ Belastingverificatie met PPS-data van de vermoeiingslocaties zonder FAMOS-metingen, NRG-notitie 23628/15.131152 C&S5.1.2/ES, 16-12-2015.

- [48] 5.1.2e ██████████, Load Specification for Fatigue Analyses of Surge Line Piping and Nozzles, Rapport NRG-23629/17.142071, 23-6-2017.
- [49] 5.1.2e ██████████, Measured temperature transients and load specification for spray nozzles of TA-hot, NRG-notitie 22981/12.114312 Revision 2 S&P5.1.2/, 2-3-2021.
- [50] 5.1.2e ██████████, Load Specification for Spray Nozzles of Main Spray Lines, Rapport NRG-23629/17.143358, 23-5-2017.
- [51] 5.1.2e ██████████, Load specification for the TA/YA nozzle, NRG-notitie 23168/12.116864 Revision 1 S&P5.1.2e ██████████, 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, 11-12-2012.
- [54] 5.1.2e ██████████, Load Specification for Double T-Junction RL/RS, Rapport NRG-23629/15.135382 Revision 1, 27-5-2020.
- [55] 5.1.2e ██████████, Afwijkende belastingtoestanden tijdens cyclus 2019-2020, NRG-notitie 24511/21.222013 C&S5.1./ES, 3-11-2021.
- [56] 5.1.2e ██████████, Jaarrapport vermoeiingsmonitoring, Status tot SW19, Rapport NRG-24511/20.175178, 15-7-2020.
- [57] 5.1.2e ██████████ Beoordeling van de afwijkende transiënten gemeten bij de sproeistomp van hulpsproeileiding TA-warm (augustus 2018), NRG-notitie 24512/20.187771 C&S5.1.2./ES, 24-3-2021.
- [58] 5.1.2e ██████████, Beoordeling afwijkende belastingen bij YP-sproeistomp tijdens cyclus 2018-2019, NRG-notitie 24512/21.223464 C&S5.1./ES, 3-11-2021.
- [59] 5.1.2e ██████████, Beoordeling van de afwijkende transiënten gemeten bij TA/YA (augustus 2018), NRG-notitie 24512/20.188086 C&S5.1.2./ES, 16-3-2021.
- [60] 5.1.2e ██████████ Afschatting van cumulatieve gebruiksfactoren voedingswaterstomp, NRG-notitie 23628/16.138880 C&S5.1.2e/ES, 29-6-2016.
- [61] 5.1.2e ██████████, Evaluatie van vermoeiingsbelastingen op voedingswaterstompen op stoomgeneratoren, NRG-notitie 24511/19.154837 C&S5.1./ES, 24-10-2019.
- [62] 5.1.2e ██████████ Evaluatie van vermoeiingsbelastingen op voedingswaterstompen op stoomgeneratoren, NRG-notitie 24511/20.175180 C&S/MH/ES, 15-7-2020.
- [63] 5.1.2e ██████████, Evaluatie van vermoeiingsbelastingen op voedingswaterstompen op stoomgeneratoren, NRG-notitie 24511/21.218505 C&S5.1./ES, 29-7-2021.
- [64] 5.1.2e ██████████, Attachment of the Thermal Sleeve to the Feed Water Nozzle YB02 EPZ 2018, Protocol NRG-P24159-18-49 rev 0, 17-5-2018.

- [65] 5.1.2e Beoordeling van de afwijkende transiënt gemeten bij de sproeistomp van hulpsproeileiding TA-warm, NRG-notitie 24161/17.145937 C&S5.1.2/ES, 6-2-2018.
- [66] 5.1.2e Beoordeling van de afwijkende transiënten gemeten bij de sproeistomp van hulpsproeileiding TA-warm (april 2017), NRG-notitie 24512/19.153101 C&S5.1.2/ES, 7-10-2019.
- [67] 5.1.2e , Fatigue Assessment of December 2014 Transients Double T-Junction RL/RS, Rapport NRG-23628/15.135717, 29-3-2016.
- [68] 5.1.2e , Beoordeling van de in maart 2014 en juli 2016 opgetreden transiënten bij T-stuk RL/RS, NRG-notitie 24161/17.146166 C&S5.1.2/ES, 6-2-2018.
- [69] 5.1.2e , Beoordeling van de afwijkende transiënt gemeten bij dubbel T-stuk RL/RS-2 (juli 2016), NRG-notitie 24512/19.154034 C&S5.1.2/ES, 7-10-2019.
- [70] E-mail van 5.1.2e aan 5.1.2e , Onderwerp: Aanvulling TUSAs.xlsx, 13-1-2015, 10:51.

3.1.1c



3.1.1c



3.1.1c

