

Samenvatting Robuustheidsonderzoek Nucleaire installaties Onderzoekslocatie Petten

In opdracht van NRG

rev. nr.	datum	omschrijving
B	120312	Definitief
A	090312	1 ^e concept

naam: Robuustheidsonderzoek Nucleaire
installaties Onderzoekslocatie
Petten. docx

referentienr.:25192/12.113273

46 pages 12 maart 2012

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave		3
1	Inleiding	5
2	Aardbeving	15
2.1	Algemeen	15
2.2	Aardbevingen en de Onderzoekslocatie Petten	16
2.3	De OLP voldoet aan de ontwerpeis voor aardbevingen	17
2.4	Conclusie	17
2.5	Verbetermogelijkheden	18
3	Overstroming	19
3.1	Begingebourtenissen overstroming	19
3.2	Robuustheidsscenario's	19
3.3	Conclusie	20
3.4	Verbetermogelijkheden	22
4	Extreem weer	23
4.1	Extreem weer scenario's	23
4.2	Conclusie	24
4.3	Verbetermogelijkheden	25
5	Verlies van elektrische voeding en mogelijkheden voor warmteafvoer	26
5.1	Uitval van stroomvoorziening	26
5.2	Mogelijkheden voor stroomvoorziening	26
5.3	Gevolgen van uitval van stroomvoorziening voor de HFR	27
5.4	Gevolgen van uitval van stroomvoorziening voor de overige faciliteiten	28
5.5	Verlies van warmteput	29
5.6	Koelsystemen van de HFR	29
5.7	Koelmogelijkheden bij verlies van warmteput	30
5.8	Conclusie	31
5.9	Verbetermogelijkheden	32
6	Andere extreme gebeurtenissen	33



6.1	Onderzochte scenario's	33
6.2	Conclusie	35
6.3	Verbetermogelijkheden	36
7	Severe Accident Management	37
7.1	Accident Management organisatie	38
7.2	Beschikbare voorzieningen om een ernstig ongeval te voorkomen	40
7.3	Maatregelen om ernstige ongevallen te beheersen	41
7.4	Maatregelen om verspreiding van radioactieve stoffen te voorkomen	43
7.5	Conclusie	44
	Lijst van figuren	45
	Lijst van afkortingen	46

1 Inleiding

Aanleiding van het robuustheidsonderzoek

Op 11 maart 2011 werd een groot deel van de Japanse oostkust getroffen door een zeer zware aardbeving, gevolgd door een verwoestende tsunami. Deze natuurramp kostte meer dan 25000 levens en veroorzaakte enorme schade aan Japanse steden en de infrastructuur.

Na de aardbeving werden de zes kerncentrales bij het Japanse Fukushima Dai-Ichi automatisch stopgezet. Echter het kerncentrale complex kon nadat het getroffen was door de tsunami, niet alle veiligheidsfuncties in stand houden. De getroffen centrales waren namelijk niet ontworpen op natuurrampen van deze omvang. Hierdoor ontstond bij vier van de zes centrales een zeer ernstige situatie waarbij er na een aantal explosies radioactiviteit vrijkwam. Als gevolg van deze radioactieve lozingen werd de lokale omgeving blootgesteld aan radioactiviteit en moest de bevolking in grote gebieden geëvacueerd worden. Door het ongeval ontstond er internationaal grote onrust over de veiligheid van kernenergie.

Een herhaling van een dergelijke gebeurtenis moet worden voorkomen. Daarom verklaarde de Europese Raad op 24 en 25 maart 2011 dat: *‘de veiligheid van alle kerncentrales in de EU moet worden geïnspecteerd op basis van een uitgebreide en transparante risicobeoordeling (“stress test”)*’.

Alle EU-lidstaten met kerncentrales hebben zich verplicht tot een beoordeling van de veiligheid van die centrales. Experts van de ENSREG¹, hebben hiervoor een gemeenschappelijke onderzoeksmethode vastgesteld met strikte richtlijnen voor de omvang van het onderzoek en de rapportagevorm. Het onderzoek betreft de mogelijke gevolgen van extreme natuurlijke omstandigheden, zoals aardbevingen en overstromingen, voor de veiligheid van de kerncentrales in Europa. Kerncentrales hebben marges bovenop de ontwerpeisen die aan de centrale worden gesteld. Deze marges maken dat een kerncentrale bestand is tegen extremere gebeurtenissen dan waarmee bij de vergunningsverlening rekening is gehouden. Het primaire doel van het robuustheidsonderzoek is de veiligheidsmarges van de kerncentrales vast te stellen en mogelijkheden om deze marges te vergroten te identificeren.

Het robuustheidsonderzoek is er dus op gericht vast te stellen hoe groot die marges zijn. Daarvoor laat het robuustheidsonderzoek (een combinatie van) gebeurtenissen steeds erger worden tot veiligheidssystemen gaan falen en een onbeheersbare radioactieve lozing optreedt.

¹ ENSREG: European Nuclear Safety Regulators Group.

Op 1 juni 2012 heeft het Ministerie van Economische zaken, Landbouw & Innovatie NRG verzocht een robuustheidsonderzoek uit te voeren voor de Hoge Flux Reactor (HFR) en de andere nucleaire faciliteiten op de “Onderzoekslocatie Petten” (OLP) op basis van de door ENSREG gedefinieerde specificaties. Daarnaast werd gevraagd het onderzoek uit te breiden met extreme gebeurtenissen waar menselijke handelen een rol kan spelen.

De consequenties van extreme (natuurlijke) omstandigheden voor de HFR en de andere nucleaire faciliteiten op de OLP werden onderzocht door gebruik te maken van bestaande veiligheidsanalyses aangevuld met extra analyses en technische beoordelingen. Het verschil tussen het robuustheidsonderzoek en eerdere veiligheidsanalyses van de HFR en andere nucleaire faciliteiten is dat nu het weerstandsvermogen wordt bepaald onder steeds extremer wordende condities zonder dat er rekening wordt gehouden met de kans dat een dergelijke extreme (natuurlijke) omstandigheid zich voordoet.

Beoogd lezerspubliek

Het eerder door NRG uitgebrachte Engelstalige hoofdrapport² is voornamelijk bedoeld voor de nationale overheid om het robuustheidsonderzoek te kunnen beoordelen. Om dat rapport goed te kunnen begrijpen is wel nucleair-technische kennis nodig.

Dit Nederlandstalige rapport moet gezien worden als een beknopte samenvatting van het Engelstalige hoofdrapport en lezing hiervan vereist beperkte technische voorkennis. Dit rapport vervangt het hoofdrapport niet; bij discussies over het robuustheidsonderzoek prevaleert de inhoud van het Engelstalige document.

Werkwijze van het robuustheidsonderzoek

De nucleaire installaties die in het onderzoek zijn meegenomen zijn:

- de Hoge Flux Reactor (HFR), een zgn. “tank-in-pool-type” 50 MW multipurpose research reactor. De bouw werd begonnen in 1957 en de reactor werd voor het eerst ‘kritiek’³ in 1961. In 1984 zijn het reactorvat en diverse andere zaken vervangen. Door de jaren heen zijn meer moderniseringën uitgevoerd;

² Het NRG rapport met de titel: Complementary Safety Margin Assessment “Onderzoekslocatie Petten”

³ D.w.z. dat in 1961 voor het eerst een gecontroleerde kettingreactie in de reactorkern tot stand werd gebracht.

- de Lage Flux Reactor (LFR), een 30 kW ‘Argonaut’ type reactor. De bouw werd begonnen in 1959 en de reactor werd voor het eerst kritiek in 1960; Eind 2010 is de LFR buiten bedrijf gesteld, de splijtstof elementen zijn medio 2011 verwijderd;
- de Hot Cell Laboratoria (HCL) bestaande uit respectievelijk een research laboratorium (HCL-RL) en een Molybdeen Productie Faciliteit (HCL-MPF), operationeel sinds 1964 en 1995;
- Decontamination & Waste Treatment Faciliteit (DWT), operationeel sinds 1962 voor reiniging van met radioactiviteit besmette componenten en voor afvalwaterbehandeling;
- de Waste Storage Faciliteit (WSF), operationeel sinds 1962 en in gebruik voor intermediaire opslag van radioactief afval;
- de STEK hal, operationeel sinds 1962 voor korte termijn opslag van radioactief afval;
- het Jaap Goedkoop laboratorium (JGL), een zgn. type B radionuclidenlaboratorium, operationeel sinds 2007.

Het onderzoek heeft drie elementen beschouwd:

1. voorzieningen in de ontwerpeisen van een faciliteit en het voldoen van de faciliteit aan deze ontwerpeisen;
2. Evaluatie van de ontwerpeisen;
3. Onderzoek naar de veiligheidsmarges bovenop de ontwerpeisen. Wanneer falen de veiligheidsvoorzieningen die splijtstofschade en/of lozing van radioactiviteit in het milieu moeten voorkomen.

In het onderzoek wordt aangenomen dat de diverse veiligheidsvoorzieningen van de faciliteiten ten gevolge van een extreme omstandigheid één voor één falen, zonder de vraag te stellen hoe waarschijnlijk die omstandigheden en dat falen zijn. Voor elk van de te onderzoeken scenario's worden ‘kritische momenten’ vastgesteld waarop de gevolgen van een gebeurtenis plotseling heel groot worden, de zogenaamde cliff-edges. De gevonden veiligheidsmarge is het verschil tussen de ontwerpeis van een faciliteit en deze uiterste grens.

Het onderzoek is gefocuseerd op:

1. Begingebourtenissen:

Aardbeving, overstroming, extreme weerscondities inclusief logische combinaties en extreme gebeurtenissen waar menselijke handelen een rol kan spelen.

2. Consequenties van verlies van veiligheidsfuncties veroorzaakt door begingebourtenissen:

Verlies van elektriciteitsvoorzieningen en/of afvoermogelijkheden voor warmte;

3. Beheersingsmogelijkheden van ernstige ongevallen – *severe accident management (SAM)*

- Beheersingsmogelijkheden om het verlies van koeling van de splijtstofelementen in de reactor te voorkomen en om de gevolgen daarvan te beheersen;
- Beheersingsmogelijkheden om het verlies van koeling van de splijtstofelementen in het splijtstofopslagbassin te voorkomen en om de gevolgen daarvan te beheersen;
- Beheersingsmogelijkheden om het verlies van insluiting van radioactieve stoffen door het ‘*containment*’ of installatie te voorkomen en om de gevolgen daarvan te beheersen.

Het robuustheidsonderzoek leidt tot de volgende inzichten:

- Het gedrag van de nucleaire installaties op de OLP in gepostuleerde en escalerende ongevalsituaties waarbij veiligheidssystemen één voor één falen;
- De robuustheid van de installaties en hun veiligheidssystemen;
- Mogelijkheden om de veiligheidsmarges en daarmee de robuustheid van installaties te vergroten.

Het robuustheidsonderzoek in relatie tot continue verbetering van de nucleaire installaties op de OLP

Binnen NRG heeft nucleaire en conventionele veiligheid de hoogste prioriteit. Dit geldt zowel voor de organisatie als de uitvoering van werkzaamheden. Dit beleid wordt geïmplementeerd via een proactieve aanpak om mogelijke gevaren voor mens en milieu te voorkomen en te beheersen waarbij het streven tot continue verbetering als leidraad dient. Via zelfevaluaties en periodieke veiligheidsevaluaties door externe organisaties, worden aanbevelingen verkregen die tot verdere verbetering van processen en installaties leiden.

Elke 10 jaar vindt een tienjaarlijkse uitgebreide veiligheidsevaluatie (10-EVA) plaats met betrekking tot nucleaire veiligheid en stralingsbescherming. Het doel van dit soort evaluaties is om de nucleaire faciliteiten en organisatie situatie te vergelijken met internationale *state-of-the-art* veiligheidsinzichten, (best) beschikbare techniek of organisatie-inzichten. Het resultaat van dergelijke evaluaties wordt beoordeeld door de Kernfysische Dienst (KFD) die ook aanvullende onderzoeksvragen kan stellen.

Behalve de 10-EVA wordt de HFR onderworpen aan een periodieke integrale veiligheidsevaluatie voor onderzoeksreactoren (*Integrated Safety Assessment of Research Reactors; INSARR*) die door expert teams van het Internationale Atoomagentschap IAEA worden uitgevoerd. Na de INSARR 2005 en een veiligheidsevaluatiemissie voor de reparatie van de zogenaamde *bottom-plug liner* van de HFR heeft een INSARR in 2011 plaatsgevonden waarvan de aanbevelingen in de 10-EVA 2012 zijn opgenomen die momenteel plaatsvindt.

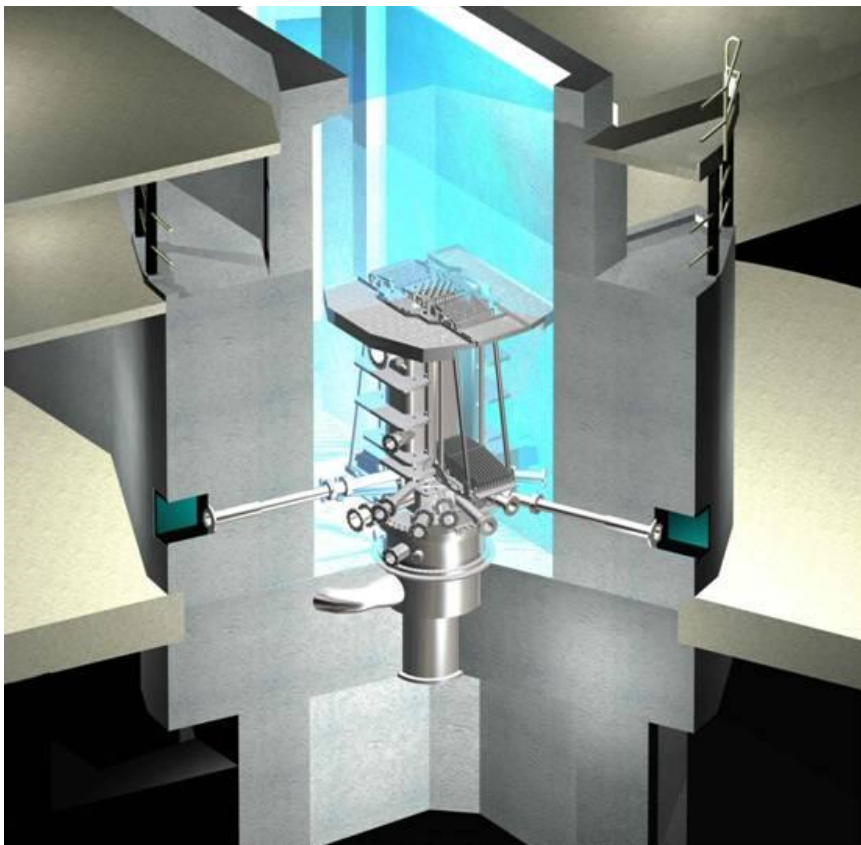
Het huidige robuustheidsonderzoek is een uitbreiding op deze veiligheidsevaluaties waarbij het weerstandsvermogen van de nucleaire installaties voor extreme omstandigheden is onderzocht. De uitkomst van dit onderzoek levert mogelijkheden op om de marges te vergroten en daarmee de veiligheid van de nucleaire installaties verder te verbeteren.

Karakteristieke eigenschappen van de nucleaire faciliteiten

Deze sectie geeft een korte beschrijving van de nucleaire faciliteiten en hun veiligheidsvoorzieningen. Voor een gedetailleerdere beschrijving wordt verwezen naar hoofdstuk 1 van het Engelstalige rapport *Complementary Safety Margin Assessment “Onderzoekslocatie Petten”*

Hoge Flux Reactor (HFR)

De HFR is een zogenaamde ‘tank-in-pool-type multipurpose’ 50 MW onderzoeksreactor waarvan het reactorvat in een bassin geplaatst is. De reactor wordt gebruikt als neutronenbron voor civiel, technologisch en wetenschappelijk onderzoek en voor de productie van radio-isotopen voor medische toepassingen. De reactor gebruikt splijtstof platen met laag verrijkt uranium voorzien van zogenaamd ‘slijtend gif’ als brandstof, water als moderator en beryllium als neutronenreflector.



Figuur 1: 3-D artist impressie van het reactorbassin van de HFR

Karakteristieke technische eigenschappen van de reactor zijn dat het reactorvat onder een lage druk staat en onder water in een bassin (151 m^3) is geplaatst. Behalve het reactorbassin zijn er nog twee andere bassins (106 en 84 m^3) die dienen voor opslag en hanteren van afgewerkte splijtstofelementen en

radioactief materiaal zoals radio-isotopen. Het water in de bassins dient als afscherming en voor koeling van radioactieve objecten in de bassins. De warmte die door de reactorkern wordt geproduceerd wordt via het gesloten primaire koelwatersysteem en warmtewisselaars naar het secundaire koelwatersysteem afgevoerd. Voor het secundaire koelwater systeem wordt water betrokken uit het Noordhollands kanaal en geloosd in de Noordzee. De warmte geproduceerd in de bassins wordt eveneens via het secundaire koelwatersysteem afgevoerd.

Het reactorconcept van de HFR heeft een aantal inherente veiligheidsaspecten:

- Negatieve temperatuur coëfficiënt voor splijfstof en moderator waardoor een oplopende temperatuur een remmend effect heeft op de kettingreactie.
- Bij een ‘reactor scram’⁴, vermogensreductie of manuele afschakeling treedt er zogenaamde kernvergiftiging op waardoor de reactiviteit verminderd wordt.
- De plaats van het reactorvat in een bassin en een overmaats ontwerp van het primaire koelsysteem zorgt voor een grote capaciteit voor warmte absorptie.

De reactor is voorzien van een gasdicht stalen *containment* dat op onderdruk wordt gehouden. Het ventilatiesysteem is voorzien van actieve koolfilters en absoluut filters om lozing van radioactiviteit te voorkomen.

De HFR is aangesloten op de noodstroomcentrale van de OLP die bestaat uit een drietal dieselgenerator sets, elk met een vermogen van 450 kVA. De noodstroomcentrale heeft een drievoudige functionele redundantie (3x 100%). Elk van de drie dieselgeneratoren is in staat het benodigde noodstroom vermogen aan de HFR te leveren.

Behalve het primair en secundair koelsysteem beschikt de HFR over back-up koelsystemen in de vorm een nakoelpompsysteem en bassinwaterinjectiesysteem en een bassinconvectiekoelsysteem. Bassinwater kan aangevuld worden via supplementaire bassinwateropslag tanks en het zogenaamde demin watersysteem.

Lage Flux Reactor (LFR)

De LFR is een watergekoelde 30 kW onderzoeksreactor van het Argonaut type. De reactor is sinds eind 2010 uit bedrijf. De splijstofelementen met hoog verrijkt uranium zijn medio 2011 verwijderd en zijn in afwachting van transport naar de COVRA opgeslagen in een ondergrondse splijststofopslag in de LFR hal. De uitgaande ventilatie wordt radiologisch gemonitord.

⁴ Een reactor scram is een soort noodstop van de reactor.

Hot Cell laboratorium (HCL)

Het HCL bestaat uit 2 onderdelen: het HCL Research Laboratorium (HCL-RL) en de molybdeenproductiefaciliteit (HCL-MPF).

Het HCL-RL wordt gebruikt voor materiaalonderzoek, opwerken van isotopen voor zowel medische als industriële toepassingen. Daarnaast wordt er radioactief afval verwerkt. Het laboratorium is voorzien van zogenaamde *hot cells* met telemanipulatoren. De hot cells zijn voorzien van dikke betonnen of loden wanden waarin met hoge radioactiviteitsniveaus gewerkt kan worden. Het ventilatiesysteem houdt de cellen continue op onderdruk en luchtafvoer wordt door absoluut filters geleid. Het HCL-RL beschikt over een betonnen opslagbassin voorzien van een roestvrij stalen bekleding waarin splijtstofpennen en uranium houdend afval wordt opgeslagen in rekken. Door gebruik te maken van geometrie en neutronen absorberend materiaal wordt kritikaliteit uitgesloten. Daarnaast beschikt HCL-RL over een ondergrondse pluggenopslag met 24 stalen pijpen die dient voor interim opslag van radioactieve objecten en afval.

Essentiële veiligheidsfuncties van het HCL-RL, zoals ventilatie- en luchtafvoersystemen, monitoring systemen en telemanipulatoren⁵ zijn aangesloten op de noodstroom centrale.

Het HCL-MPF wordt gebruikt voor productie van het radioisotoop molybdeen voor medische toepassingen. De faciliteit beschikt over twee onafhankelijke lijnen met vijf hot cellen. In elke lijn wordt molybdeen via vijf stappen geëxtraheerd uit bestraalde uranium targets. De cellen hebben allemaal een roestvrij stalen bekleding en zijn voorzien van telemanipulatoren. Het HCL-MPF beschikt over een eigen ventilatie systeem met separate gebouw en cellen luchtstroom. De cellen worden op onderdruk gehouden. De uitgaande ventilatie is voorzien van vertragingsfilters, actief kool en absoluut filters en monitorsystemen. Alle systemen zijn redundant (meervoudig) uitgevoerd.

Diverse afvalstromen worden tijdelijk opgeslagen in HCL-MPF. Uranium houdend afval wordt verzameld op filters en daarna in het HCL-RL opgeslagen. Het hoog actieve vloeibare afval wordt in dubbelwandige tanks in de kelder opgeslagen. Na voldoende verval, d.w.z. voldoende afname van de radioactiviteit, wordt dit afval afgevoerd naar de nationale inzamelaar van radioactief afval, de COVRA. Het vaste afval wordt tijdelijk in een vat in een hot cell opgeslagen. Na voldoende verval wordt het afval in afwachting van transport naar COVRA opgeslagen in HCL-RL of in de Waste Storage Faciliteit (WSF). Gasvormig afval wordt tijdelijk opgeslagen in afgeschermd tanks. Na voldoende verval wordt dit via de vertragingsfilters naar de uitgaande ventilatie geleid.

⁵ Systeem om van buiten de hot cell, objecten in de hot cell te kunnen hanteren.

Essentiële veiligheidsfuncties van het HCL-MPF, zoals ventilatie en luchtafvoersystemen, monitoring systemen en telemanipulatoren zijn aangesloten op de noodstroom centrale.

Decontamination & Waste Treatment Facility (DWT)

Het DWT complex bestaat uit een decontaminatie gebouw, waterbehandelingsgebouw, vast afval gebouw en een opslaggebied met een vloeistofdichte vloer voor besmette componenten.

In het decontaminatiegebouw worden componenten afkomstig uit de nucleaire industrie en uit de olie & gas en procesindustrie gereinigd en vrijgegeven voor hergebruik. In het watergebouw worden proceswaterstromen opgeslagen, gezuiverd en daarna gecontroleerd geloosd op de Noordzee via een 4,4 km lange lozingsleiding. Het vastafvalgebouw wordt gebruikt voor het compacteren en verpakken van vast afval voor transport naar COVRA. Daarnaast beschikt dit gebouw over ondergrondse opslag voor radioactieve componenten en een hoge druk reinigingsinstallatie voor het reinigen van boorpijpen afkomstig uit de olie & gasindustrie.

Alle gebouwen worden via het ventilatiesysteem op onderdruk gehouden en de uitgaande ventilatie is voorzien van actief kool en absoluut filters en wordt continue radiologisch gemonitord.

Essentiële veiligheidsfuncties van DWT, zoals ventilatie en luchtafvoersystemen en monitoring systemen, zijn aangesloten op de noodstroom centrale.

Waste Storage Facility (WSF)

De WSF beschikt over ondergrondse ‘trenches’⁶ en pijpen waar middel en hoog radioactief materiaal in wordt opgeslagen. De wanden van deze opslagruimte zijn waterdicht. De opslagmogelijkheden worden afgesloten met pluggen of dikke betonnen platen.

Het ventilatiesysteem creëert onderdruk in de opslagmogelijkheden en de lucht wordt via de naburige DWT faciliteit apart afgevoerd. Deze uitgaande ventilatie is voorzien van een actief koolfilter en een condensatie-unit en wordt gemonitord.

Essentiële veiligheidsfuncties van de WSF, zoals ventilatie en luchtafvoersystemen en monitoring systemen, zijn aangesloten op de noodstroom centrale.

STEK Hal

⁶ Soort langwerpige kelderruimtes.

De STEK hal wordt gebruikt voor tijdelijke opslag van transport gereed radioactief afval afkomstig van HCL Het ventilatie systeem is uitgerust met absoluut en actief koolfilters en de uitgaande ventilatie wordt gemonitord.

Jaap Goedkoop Laboratorium (JGL)

Het JGL is een zogenaamd B-radionuclidelaboratorium waarin met beperkte hoeveelheden radioactiviteit wordt gewerkt. Het werkgebied betreft materiaalonderzoek voor splijtings- en fusieonderzoek en onderzoek naar levensduurverkorting van radioactief afval. Daarnaast wordt er onderzoek gedaan naar de productie van radio-isotopen voor medische toepassingen. Het redundante ventilatiesysteem zorgt voor lokale onderdruk regimes voor de zuurkasten, *glove boxen* en werkbanken. De afvoerventilatie is voorzien van absoluut filters en een monitoring systeem.

Het JGL is voorzien van twee opslagtanks voor mogelijk besmet water afkomstig vanuit de laboratoria.

Essentiële veiligheidsfuncties van het JGL, zoals ventilatie en luchtafvoersystemen en monitoring systemen, zijn aangesloten op de noodstroom centrale.

Leeswijzer

In de hierop volgende hoofdstukken worden de onderzoekresultaten per deelgebied samengevat.

Daarnaast worden per deelgebied de mogelijkheden tot verbetering aangegeven . De verbeteringen zijn gecatalogiseerd als:

- M: maatregelen die waarschijnlijk hardware modificatie met zich mee brengt;
- S: aanvullende studies om de robuustheid nauwkeuriger te bepalen
- P: procedures die de robuustheid van de OLP verder kunnen vergroten.

In tegenstelling tot het Engelstalige hoofd rapport dat specifiek het ENSREG format volgt, wordt om de leesbaarheid te verhogen in de onderliggende Nederlandse samenvatting het deel ‘Andere Extreme Gebeurtenissen’ in hoofdstuk 6 en Severe Accident Management (SAM) in hoofdstuk 7 behandeld.

2 Aardbeving

Dit hoofdstuk is een samenvatting van hoofdstuk 2 *Earthquake* uit het Engelstalige rapport over het robuustheidsonderzoek.

2.1 Algemeen

Er bestaan twee verschillende soorten aardbevingen: natuurlijke aardbevingen en aardbevingen geïnduceerd door exploratie naar aardgas. Wat betreft de natuurlijke aardbevingen, ligt de OLP in een gebied met lage seismische activiteit. Dit type aardbeving is op de OLP tot nu toe nog niet waargenomen. De niet-natuurlijke aardbevingen worden veroorzaakt door gasexploratie in de Bergermeer, circa 20 km ten zuiden van de OLP.

De sterkte van de aardbeving wordt meestal uitgedrukt met de schaal van Richter. De gevolgen op het aardoppervlak worden in Europa algemeen uitgedrukt met de intensiteitsschaal van Mercalli. De schaal van Mercalli kent twaalf stappen van steeds sterker waargenomen gevolgen van een aardbeving, variërend van I ‘Niet gevoeld, slechts door seismometers geregistreerd’ tot XII ‘Buitengewoon catastrofaal, algemene verwoesting, verandering in het landschap, scheuren in rotsen, talloze vernielingen’.

Behalve in de beschrijvende schaal van Mercalli kan de intensiteit op een bepaalde plek ook worden uitgedrukt in ‘g’, de horizontale en een verticale versnelling.

Classificering van aardbevingen	
Richter	wordt gebruikt voor het uitdrukken van de kracht van een aardbeving
Mercalli	wordt gebruikt voor het uitdrukken van het verwoestende effect van een beving
g	wordt gebruikt om de versnelling (trilling in de bodem) uit te drukken

Mercalli-schaal	
I	Niet gevoeld, slechts door seismometers geregistreerd.
II	Nauwelijks gevoeld, alleen onder gunstige omstandigheden gevoeld.
III	Zwak, door enkele personen gevoeld. Trilling als van voorbijgaand verkeer.
IV	Vrij sterk, door velen gevoeld. Trillingen als van zwaar verkeer. Rammelen van ramen en deuren.
V	Sterk, algemeen gevoeld. Opgehangen voorwerpen slingeren. Slapende mensen worden wakker.
VI	Lichte schade. Schrikreacties. Voorwerpen in huis vallen om. Lichte schade aan minder solide huizen.
VII	Behoorlijke schade. Schade aan veel gebouwen. Schoorstenen breken af. Golven in vijvers. Kerkklokken geven geluid.
VIII	Zware schade. Algehele paniek. Algemene schade aan gebouwen. Zwakke bouwwerken gedeeltelijk vernield.
IX	Verwoestend. Veel gebouwen zwaar beschadigd. Schade aan funderingen. Ondergrondse pijpleidingen breken.
X	Buitengewoon verwoestend en extreme schade. Verwoesting van vele gebouwen. Schade aan dammen en dijken. Grondverplaatsing en scheuren in de aarde.
XI	Catastrofaal. Algemene verwoesting van gebouwen. Rails worden verbogen. Ondergrondse leidingen vernield.
XII	Buitengewoon catastrofaal. Algemene verwoesting. Verandering in het landschap. Scheuren in rotsen. Talloze vernielingen.

De beveiliging van nucleaire installaties tegen incidenten en ongevallen, waaronder aardbevingen, is gebaseerd op het principe van *defence-in-depth*⁷, waarbij vier niveaus worden onderscheiden:

1. Voorkomen van ongevallen door conservatief ontwerp, kwaliteitsborging en bedrijf in een goede veiligheidscultuur,
2. Detectie en correctie van bedrijfsparameters voordat die de voorgeschreven limieten overschrijden,
3. Accident management⁸ met de veiligheidssystemen,
4. Mitigeren van de effecten van een ongeval voor mens en milieu.

2.2 Aardbevingen en de Onderzoekslocatie Petten

De aardbevingsbestendigheid van de nucleaire installaties op de onderzoekslocatie Petten (OLP) wordt beoordeeld en geëvalueerd met behulp van een zogenaamde Ontwerpaardbeving (*Design Basis*

⁷ verdediging in de diepte

⁸ ongevalsbeheersing

Earthquake, DBE). Dit is de aardbeving waar tegen de OLP aantoonbaar bestand moet zijn. Deze is voor de OLP samengesteld uit de sterkst aannemelijke natuurlijke en geïnduceerde aardbeving.

De natuurlijke aardbeving is conservatief gebaseerd op een aardbeving voor een karakteristieke kerncentrale in Noord-Duitsland met een grondversnelling van 0,2 g. Volgens het KNMI is de geschatte maximum trilling in de bodem van een gasgeïnduceerde aardbeving 0,4 g met een intensiteit van VI tot VII op de Mercalli-schaal. Ter plaatse van de OLP zal de intensiteit dan IV tot V bedragen.

2.3 De OLP voldoet aan de ontwerp eis voor aardbevingen

Met diverse technieken, zoals eindige elementen analyse, is de aardbevingsbestendigheid van de diverse gebouwen en structuren op de OLP bepaald. Beschikbare documentatie is gecontroleerd en de OLP gebouwen zijn fysiek geïnspecteerd. Aangetoond is, dat voor alle gebouwen en structuren de veiligheidsmarge positief is. Het kleinst (factor 1,10 bij de ontwerpaardbeving van 0,4 g) is deze marge voor de vloerbalken van de HCL MPF. Dat houdt in dat de integriteit hiervan gewaarborgd is tot een aardbeving van 0,44 g (1,1 x 0,4 g). Voor de andere structuren gelden significant hogere marges. Voor de HFR zijn de *hot cell* panelen in het reactorgebouw het minst sterke punt, met een marge van 1,11. De marge van de stalen koepel ter voorkoming van verlies van containment bedraagt 3,2. De integriteit van het HFR containment is daarom gewaarborgd voor een aardbeving tot 1,3 g.

Ook is gekeken naar indirecte gevolgen van aardbeving, zoals interne overstroming, brand en stroomuitval. Deze ongevalstypen worden elders in dit robuustheidsonderzoek afgedekt.

2.4 Conclusie

Gebaseerd op de *defence-in-depth* benadering zijn de consequenties van de ontwerpaardbeving in relatie tot de drie fundamentele veiligheidsfuncties (reactorafschakeling, nawarmte-afvoer en het binnenhouden van radioactiviteit) bepaald en geëvalueerd voor de HFR. Hieruit bleek dat de installatie bestand is tegen de ontwerpaardbeving. Ook voor de andere nucleaire faciliteiten van de OLP zijn de barrières tegen de vrijgekomen radioactieve stoffen zodanig gekwalificeerd dat de fundamentele veiligheidsfuncties voor de OLP faciliteiten zijn gewaarborgd.

Op sommige punten waren de karakterisering en analyses niet geheel compleet waardoor er met conservatieve (dus extra strenge) aannames gewerkt moest worden. Naar aanleiding van de bevindingen zijn een aantal verbetermogelijkheden geformuleerd, zie de tabel in paragraaf 2.5.

2.5 Verbetermogelijkheden

Geïdentificeerde mogelijkheden tot verbetering	
M1	Installatie van seismische instrumentatie in de regelkamer van de HFR, zodat hiermee indien noodzakelijk direct een reactorafschakeling ingeleid kan worden.
S1	Evaluatie van de momenteel gebruikte ontwerpaardbeving tegen de huidige eisen en aanbevelingen van de IAEA.
S2	Completering van de seismische karakterisering van de OLP locatie met referentie aan de huidige eisen en aanbevelingen van de IAEA
S3	Systematische seismische kwalificatie van de systemen, structuren en componenten van de HFR consistent met internationaal geaccepteerde eisen en richtlijnen. Hieronder vallen ook de aanbevelingen van de recente INSARR ⁹ missie aan de HFR.
S4	Uitbreiding van de bestaande seismische analyse van het HCL gebouw en gerelateerde componenten.

⁹ Integrated Safety Assessment of Research Reactors

3 Overstroming

Dit hoofdstuk is een samenvatting van hoofdstuk 3 *Flooding* uit het Engelstalige rapport over het robuustheidsonderzoek.

3.1 Begingeburtenissen overstroming

Als begingeburtenissen die een overstroming kunnen veroorzaken is voor dit robuustheidsonderzoek uitgegaan van hoogwater in combinatie met stormvloed en van tsunami. Andere gebeurtenissen zijn extreme regenval en koelwaterleidingbreuk: deze worden elders in dit onderzoek besproken.

De tsunami is voor deze locatie niet veiligheidsrelevant. Zelfs als een tsunami optreedt in combinatie met de meest extreme stormvloed sinds 1932 (3.25 m boven NAP in Petten, 1953), dan zou dit resulteren in een waterniveau van 4.65 m (1.4 + 3.25) m boven NAP, een niveau beneden het ontwerpniveau van de duinen en het niveau van de HFR (4.7 m boven NAP).

Beschrijving hoogtesituatie van de OLP

De OLP is gelegen in een duingebied, geflankeerd door de Noordzee in het westen en de Zijper Polder in het oosten. De afstand tussen de Noordzee en de relevante gebouwen varieert van 250 tot 500 meter. Een minimum van twee rijen duinen scheidt de gebouwen van de zee. Aan de kant van Zijper Polder markeert een derde rij duinen een scherpe overgang naar de polder. De duinen zelf zijn tussen ongeveer 8 en 16 m boven NAP hoog, en de Zijper Polder ligt op 0 m boven NAP. De niveaus op het terrein variëren tussen 2 en 15 m boven NAP. De minimale hoogte van de gebouwen met relevante veiligheidsfuncties bedraagt 4,1 m boven NAP. Figuur 2 geeft het hoogteprofiel van de OLP en zijn omgeving weer.

3.2 Robuustheidsscenario's

Er is voor de OLP geen ontwerpoverstroming gedefinieerd. Om de gevolgen van hoogwater met stormvloed te evalueren wordt in dit robuustheidsonderzoek de waterstand stelselmatig verhoogd, net zo lang totdat een incident met lozing van radioactiviteit kan ontstaan. Voor elk gebouw van de OLP is onderzocht bij welke waterstand belangrijke onderdelen uitvallen of bezwijken.

Bij een overstroming zal eerst het laaggelegen (niveau NAP) achterland onder water lopen, waardoor de stroomvoorziening via het openbare net uitvalt. De OLP is dan aangewezen op de noodstroomvoorziening met dieselgeneratoren. Bij stijgend waterniveau zijn er vervolgens voor de HFR de volgende scenario's te onderscheiden, indien het water ondanks de derde duinenrij toch het bedrijfsterrein zou bereiken:

1. Bij een waterniveau van 4,10 m boven NAP: noodstroomvoorziening valt uit: de dieselgeneratoren stromen onder water.
2. 5,00 m boven NAP: kelder loopt onder: mogelijke lozing uit de afvalwatertanks die losbreken en gaan drijven.
3. 5,25 m boven NAP: noodstroomvoorziening op accu's voor de vervalwarmte-afvoerpompen valt uit.
4. 7,00 m boven NAP: verlies van containment: lozing mogelijk.

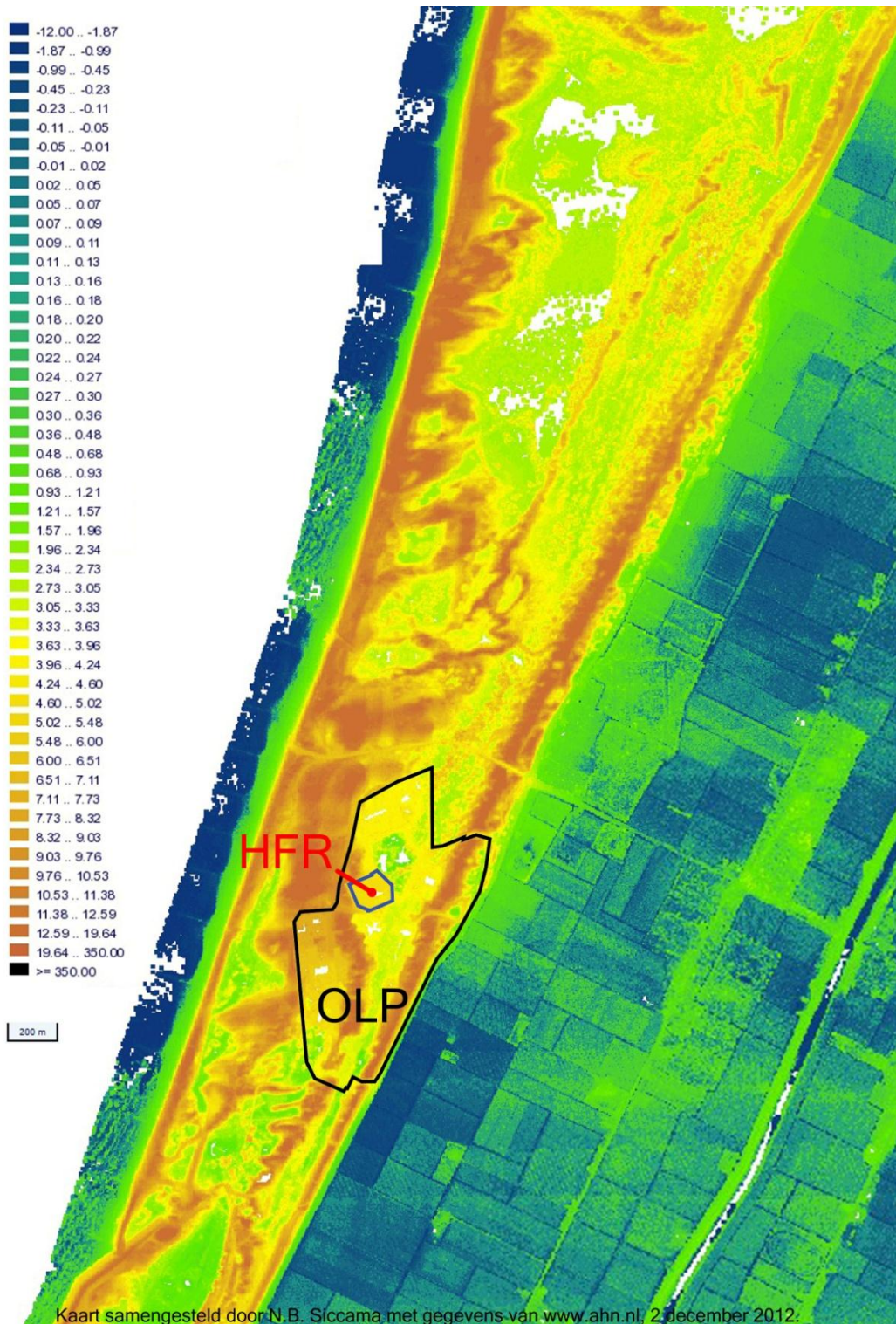
Na uitval van de stroomvoorziening is er 600 uur (25 dagen) tijd om maatregelen te treffen voordat de splijtstof droog komt te staan. Droogstaande splijtstof zal smelten en radioactieve stoffen zullen vrijkomen binnen het containment.

Voor de overige OLP gebouwen gaat het alleen om verlies van containment en daardoor eventueel beperkte lozingen van vloeibare radioactieve stoffen. Bij een waterniveau op het terrein van 4,10 m boven NAP valt de stroomvoorziening die nodig is voor het handhaven van onderdruk uit, en is er sprake van verlies van containment. Bij verder stijging van het waterniveau zal het water diverse opslagtanks en vaten met radioactief materiaal bereiken, dat vervolgens kan vrijkomen.

3.3 Conclusie

In geval van een extreme stormvloed met dijkbreuk of duinschade, is het waarschijnlijk dat de Zijper polder wordt overstroomd, terwijl de hoger gelegen OLP effectief een eiland wordt. In dat geval zal de OLP de elektriciteitsvoorziening via het openbare net verliezen. De veiligheidsvoorzieningen van de HFR zijn dan zeker voldoende om voor tenminste 25 dagen (600 uur) de veiligheid te waarborgen. Wanneer de OLP zelf wordt overstroomd wordt de veiligheidsmarge bepaald door het verlies van de noodstroomvoorziening bij een waterhoogte van 4,1 m boven NAP.

Voor de andere nucleaire faciliteiten is geen afschakeling of koeling vereist, maar gaat het alleen om het binnen houden van de radioactieve materialen. Overstroming bedreigt deze zogenaamde *confinement* functie naast directe overstroming van de gebouwen ook door het onderwater lopen van de elektrische installatie.



Figuur 2: Hoogtekaart voor de OLP en omgeving in meters boven NAP.

3.4 Verbetermogelijkheden

Geïdentificeerde mogelijkheden tot verbetering	
M2	Versterking van de Interne Nood Organisatie (INO) door zekering van de elektriciteitsvoorziening naar de INO-ruimte onder extreme omstandigheden
M3	Versterking van de Interne Nood Organisatie door het gebruik van draadloze batterij gevoede en satelliet gebaseerde communicatiesystemen
M4	Het vastschroeven van de afvalwatertanks in het HCL, JGL en de HFR aan de vloer.
M5	Installatie van connecties voor hulpdieselgeneratoren voor stroomvoorziening voor vitale componenten.
M6	Installatie van (additionele) lekdetectiesystemen bij de HFR en de WSF
S5	Onderzoek naar de mogelijkheden om diesel- en drinkwatervoorraden aan te vullen onder overstromingsomstandigheden
S6	Onderzoek naar de mogelijkheid om de penetraties van de kabelgoten tussen de verschillende HFR gebouwen lekdichter te maken
P1	Herziening van alle bestaande procedures die te maken hebben met overstroming; aanpassing hiervan bij knelpunten

4 Extreem weer

Dit hoofdstuk is een samenvatting van hoofdstuk 4 *Extreme Weather* uit het Engelstalige rapport over het robuustheidsonderzoek.

4.1 Extreem weer scenario's

Dit hoofdstuk beschrijft de weerstand van de nucleaire faciliteiten op de OLP tegen extreme weerscondities. De veiligheidsmarges die er zijn ten opzichte van de wettelijke eisen waaraan de faciliteiten moeten voldoen worden vastgesteld. Hiertoe zijn acht scenario's van verschillende typen extreem weer onderzocht.

Scenario 1: Temperatuur Noordhollands Kanaal

De enige praktische limiet aan de temperatuur van het Noordhollands Kanaal is gekoppeld aan de uit milieuoverwegingen maximaal toegestane uittretemperatuur van het secundair koelwater van de HFR in de Noordzee (40°C). Om dit te halen mag het ingenomen kanaalwater niet warmer zijn dan 25°C. Indien de temperatuur hierboven stijgt, wordt het reactorvermogen gereduceerd. De koeling van de reactor komt op geen enkele wijze in gevaar.

Scenario 2: Luchttemperatuur

Een limiet aan de luchttemperatuur wordt gegeven door het mogelijk optreden van brosse breuk in het stalen gedeelte van het HFR reactorgebouw, en bedraagt -20°C. Een dergelijke lage temperatuur is in de afgelopen honderd jaar op de kustlocatie van de HFR nog niet voorgekomen.

Scenario 3: Extreme wind

Op basis van de beschikbare gegevens is voor alle gebouwen van de nucleaire faciliteiten op de OLP een ontwerpwind snelheid bepaald, die ook windvlagen en tornado's omvat. Er bleek dat alle gebouwen behalve het reactorgebouw hier niet tegen bestand zijn. Voor elk gebouw zijn de gevolgen van een bezwijken door storm onderzocht. Deze zullen of zeer beperkt zijn, of worden afgedekt door scenario's elders in dit robuustheidsonderzoek, zoals het verlies van warmteafvoer of stroomvoorziening.

Scenario 4: IJsvorming op het Noordhollands Kanaal

IJsvorming op het Noordhollands Kanaal zou in het ergste geval blokkering van de koelwater-inlaat kunnen veroorzaken. Dit wordt niet als probleem gezien omdat dit een langzaam proces is en tijdig tegenmaatregelen kunnen worden genomen, zoals afschakeling van de reactor en koeling met water uit de *bassins*.

Scenario 5: Zware regenval

Op basis van statistieken van het KNMI is een maximale belasting door regenval bepaald voor de daken van de gebouwen van de nucleaire faciliteiten van de OLP. Ook dit wordt niet als probleem gezien omdat dit alleen speelt bij het verzamelen van regenwater bij verstopte regenpijpen, en dit ook een langzaam proces is. Tegenmaatregelen kunnen tijdig worden genomen.

Scenario 6: Zware sneeuwval

Op basis van statistieken van het KNMI is een maximale belasting door sneeuwval bepaald voor de daken van de gebouwen van de nucleaire faciliteiten van de OLP. Sneeuwval is ernstiger dan regenval, omdat sneeuw ook bij werkende hemelwaterafvoeren gedurende langere tijd kan blijven liggen. Echter worden de gebouwen tijdens sneeuwperiodes dagelijks geïnspecteerd en indien nodig sneeuw verwijderd.

Scenario 7: Blikseminslag

De gebouwen op het OLP terrein zijn voldoende beschermd tegen blikseminslag door een geaard net van bliksemafleiders (klasse 2 en 3, NEN1014).

Scenario 8: Mogelijke combinaties van zwaar weer

Ook combinaties van extreem weer zoals extreme wind met zware sneeuwval, of extreme wind en regenval met blikseminslag zijn onderzocht. Geen van deze combinaties leidt echter tot een additioneel verlies van veiligheidsfuncties.

4.2 Conclusie

Behalve voor extreme wind kan gesteld worden dat extreem weer geen invloed heeft op de veiligheid van de nucleaire faciliteiten van de OLP. Echter zullen de gevolgen van een bezwijken van delen van gebouwen door storm zeer beperkt zijn, of worden afgedekt door scenario's elders in dit robuustheidsonderzoek, zoals het verlies van warmteafvoer of het verlies van stroomvoorziening.

4.3 Verbetermogelijkheden

Geïdentificeerde mogelijkheden tot verbetering

S7	Het toevoegen van ontbrekende weersomstandigheden aan de ontwerpbasis. Identificatie van ontbrekende gebouwspecificaties en vervolgens evaluatie van bestaande marges.
P2	Instelling van een procedure voor buitenbedrijfstelling van de nucleaire faciliteiten in geval van voor gedefinieerde omstandigheden van extreem weer.

5 Verlies van elektrische voeding en mogelijkheden voor warmteafvoer

Dit hoofdstuk is een samenvatting van hoofdstuk 5 *Loss of electrical power and loss of ultimate heat sink* uit het Engelstalige rapport over het robuustheidsonderzoek.

5.1 Uitval van stroomvoorziening

Veel systemen op de OLP en in de HFR zijn voor hun functioneren afhankelijk van elektriciteit. Het verlies van de stroomvoorziening kan dan ook significante gevolgen voor de veiligheid hebben.

Hier zal een overzicht gegeven worden van de verschillende mogelijkheden die op de OLP aanwezig zijn om systemen van elektriciteit te blijven voorzien, wat de beperkingen zijn van deze mogelijkheden, en wat de belangrijkste consequenties zijn van het uitvallen van de stroomvoorziening.

5.2 Mogelijkheden voor stroomvoorziening

De HFR en de bijbehorende nucleaire faciliteiten hebben de volgende mogelijkheden om systemen van elektriciteit te voorzien:

- De normale stroomvoorziening wordt geleverd door twee aftakkingen vanaf het gewone elektriciteitsnet: één aftakking voedt de HFR, de andere voedt de overige faciliteiten;
- Dieselgeneratoren als normale noodstroomvoorziening,
- Het zogenaamde NV systeem, gevoed door batterijen, dat wisselstroom kan leveren aan de pompen van het primaire circuit van de HFR,
- Het zogenaamde VZO systeem, gevoed door andere batterijen, dat gelijkstroom kan leveren aan de instrumentatie- en regelsystemen van de HFR.

Aftakkingen

Als de stroomvoorziening aan de HFR is uitgevallen door het falen van de voorkeursaftakking kan gebruik gemaakt worden van de andere aftakking. Dit biedt geen mogelijkheid om de HFR van stroom te voorzien als het net zelf geen stroom kan leveren.

Voor het gebruik van de andere aftakking moet een aantal schakelaars handmatig worden overgezet. Dit kan alleen gedaan worden door personeel van netbeheerder Liander, die niet op de OLP zelf aanwezig zijn. Het overzetten kost drie tot vier uur. In deze periode zal gebruik gemaakt moeten worden van de dieselgeneratoren.

Dieselgeneratoren

Er zijn drie dieselgeneratoren die ieder voldoende vermogen hebben om in 100% van de noodstroombehoefte van de faciliteiten te voorzien. Deze diesels vormen een back-up voor elkaar.

De drie dieselgeneratoren hebben voldoende dieselvoorraad om alle faciliteiten 33 uur van stroom te voorzien en de HFR voor 43 uur. Als tijdig duidelijk is dat er geen nieuwe brandstof kan worden aangevoerd, kan besloten worden alleen de HFR van stroom te voorzien. Als dit besluit direct wordt genomen is er voldoende brandstofvoorraad voor 89 uur.

NV-systeem

Het NV systeem heeft voldoende batterijcapaciteit om de primaire pompen van de HFR twee uur te laten draaien.

VZO systeem

Het VZO systeem heeft voldoende batterijcapaciteit om de instrumentatie- en regelsystemen van de HFR drie uur te voeden.

5.3 Gevolgen van uitval van stroomvoorziening voor de HFR

ENSREG onderscheidt drie niveaus van uitval van stroomvoorziening:

1. **LOOP** (*Loss Of Off-site Power*). Dit is de uitval van de externe stroomvoorziening door het elektriciteitsnet;

2. **SBO1** (*Station Blackout*). Dit is het wegvallen van het externe net, gecombineerd met onbeschikbaarheid van de normale noodstroomvoorziening die wisselstroom levert aan de systemen op het terrein;
3. **SBO2** Hierbij zijn alle voorzieningen die wisselstroom kunnen leveren weggevallen. Alleen batterij-aangedreven gelijkstroomsystemen met een laag vermogen blijven over.

LOOP

De warmteafvoer van de HFR naar de Noordzee (de secundaire koeling) wordt direct gevoed door het externe net. Dit betekent dat een LOOP situatie bij de HFR altijd ook een verlies van warmteput (LUHS) inhoudt, zoals hierna besproken zal worden.

SBO1

Als ook de normale noodstroomvoorziening wegvalt zal het primaire koelsysteem van de HFR gevoed worden door het NV-systeem.

SBO2

In SBO2 functioneert alleen het VZO-systeem nog. Dit systeem levert geen stroom aan koelpompen. In een SBO2 situatie kan koeling alleen door natuurlijke convectie van bassinwater plaatsvinden.

5.4 Gevolgen van uitval van stroomvoorziening voor de overige faciliteiten

In de overige faciliteiten op de OLP is geen actieve koeling nodig om radioactieve materialen te koelen. Voor de HCL en de MPF is elektriciteit wel nodig om onderdruk te bewaren in cellen waarin aan radioactief materiaal gewerkt wordt.

Bij uitval van het externe net worden de ventilatiesystemen gevoed door de diesel-aangedreven noodstroomvoorziening. Zonder noodstroomvoorziening kunnen de ventilatiesystemen geen onderdruk handhaven in de cellen. Het is dan mogelijk dat lucht door kieren langzaam weglekt uit de cellen.

5.5 Verlies van warmteput

Er wordt in de HFR warmte geproduceerd door de kern. Er wordt door de kern ook nog enige warmte geproduceerd als de reactor is uitgeschakeld, dit wordt vervalwarmte genoemd. Daarnaast wordt er warmte geproduceerd door in de bassins opgeslagen gebruikte splijstof, experimenten en productiefaciliteiten.

Het afvoeren van deze warmte gaat door een aantal tussenstappen naar een ‘warmteput’ (*heat sink*). Een warmteput is een medium dat zo groot is dat we ervan uit kunnen gaan dat het onbeperkt warmte kan opnemen. De warmteput van de HFR is de Noordzee. Als er geen warmte afgevoerd kan worden naar de Noordzee heet dit een verlies van warmteput, of *Loss of Ultimate Heat Sink* (LUHS).

De splijstof in de kern en in het bassin is veilig zolang zij bedekt is met water. Bij LUHS zal het aanwezige water opwarmen en bij zeer langdurig voortduren van LUHS, uiteindelijk weg koken. De bassins van de HFR bevatten voldoende water om de splijstof voor zeer geruime tijd bedekt te houden, maar ze zijn niet groot genoeg om als een onbeperkte warmteput beschouwd te worden.

5.6 Koelsystemen van de HFR

Het reactorvat van de HFR bevindt zich in een reactorbassin van ruim 8 meter diep. Naast dit bassin zijn er twee opslagbassins met een open verbinding naar het reactorbassin. De bassins bevatten gezamenlijk ruim 300 m³ water met een temperatuur van 37° C.

Bij normaal bedrijf is het water in het reactorvat afgesloten van het reactorbassin. De reactor wordt dan gekoeld door het primaire circuit. Het primaire circuit bevat 100 m³ water met een temperatuur van ongeveer 50°C. Dit water wordt rondgepompt door de kern waar het opgewarmd wordt en door warmtewisselaars waar het gekoeld wordt.

Deze warmtewisselaars worden gekoeld door de secundaire koeling. De secundaire koeling haalt water uit het Noord-Hollands Kanaal, pompt het door de warmtewisselaars, en voert het opgewarmde water af naar de Noordzee. Als dit systeem niet werkt kan er dus geen warmte worden afgevoerd naar de warmteput.

De opslagbassins worden opgewarmd door de gebruikte splijstof die er in staat opgeslagen en door experimenten die worden uitgevoerd in de HFR. Deze worden gekoeld door een vergelijkbaar (maar kleiner) systeem als het primaire systeem, dat ook weer haar warmte afgeeft aan de secundaire koeling.

5.7 Koelmogelijkheden bij verlies van warmteput

Bij verlies van warmteput wordt de reactor meteen uitgeschakeld. Hierna zal de kern vervalwarmte blijven produceren in het reactorvat, terwijl de gebruikte splijstof en experimenten mede bijdragen aan het opwarmen van de bassins.

De volgende mogelijkheden kunnen worden ingezet om de splijstof in de kern en in de bassins bedekt te houden:

Opwarmen van het primaire systeem

Zolang er netspanning of noodstroom beschikbaar is kan het water in het primaire circuit worden rondgepompt. Zonder secundaire koeling zal het water hierbij geleidelijk opgewarmd worden. Het duurt 12 uur voordat het water het kookpunt van 100° C bereikt.

Als het externe net en de dieselgeneratoren niet beschikbaar zijn, worden de pompen aangedreven door de batterijen van het NV systeem. Deze zijn uitgeput na twee uur.

Opwarmen van het bassin

Wanneer de temperatuur in het primaire systeem te hoog oploopt kan de verbinding tussen het reactorbassin en het reactorvat door de operators geopend worden. Hierdoor zal water uit het reactorbassin door de kern gaan circuleren, zodat warmte uit de kern wordt afgevoerd naar het bassin. Dit gebeurt door natuurlijke circulatie, er zijn geen pompen of elektriciteit voor nodig.

Door de toevoer van warmte (zowel vanuit de kern als van de gebruikte splijstof) zullen de bassins opwarmen en uiteindelijk gaan koken. Volgens conservatieve schatting duurt het minimaal één dag voordat het reactorbassin het kookpunt bereikt, en twee tot drie dagen voordat het water in alle bassins aan het koken is.

Een speciale situatie ontstaat als de splijstof uit de uitgeschakelde reactor is gehaald en tijdelijk is opgeslagen in een opslagbassin. In dat geval zal alle warmteproductie in één bassin plaatsvinden. Als het verlies van warmteput zeer kort na het verplaatsen van de splijstof plaatsvindt, zou dit bassin (conservatief geschat) na 13 uur het kookpunt kunnen bereiken.

Koken van het bassin

Tijdens het koken is de splijstof niet in gevaar, zolang het waterpeil hoog genoeg blijft. Als er geen nieuw water wordt toegevoegd zal het waterpeil na 18 dagen zodanig gezakt zijn dat het water niet langer voldoende stralingsbescherming biedt voor mensen in de koepel en controlekamer van de HFR.

Het duurt zeker 25 dagen voordat het waterpeil zakt tot de bovenkant van de splijtstof en er splijtstofschade kan optreden.

Aanwezig water toevoegen aan het bassin

Er zijn tanks aanwezig met 105 m³ water. Met dit water kan het water 13 dagen langer op peil gehouden worden.

Toevoegen van water van buiten het terrein

Het is mogelijk een brandweerpomp aan te sluiten op het systeem. Als er water van buiten het terrein kan worden aangevoerd, kan dat op deze wijze toegevoegd worden aan het bassin. Ook beschikt het systeem over een aansluiting op de gewone waterleiding van de PWN, waarmee vers water kan worden aangevoerd. Bij blijvende beschikbaarheid van één of meer alternatieve bronnen van water, kan het water in de bassins onbeperkt op peil worden gehouden.

5.8 Conclusie

De OLP beschikt over drie redundante dieselgeneratoren als noodstroomvoorziening. Bij verlies van stroomvoorziening door het externe net (en zonder toevoer van nieuwe brandstof) kunnen deze generatoren de faciliteiten op de OLP voor 33 uur van noodstroom voorzien, of de HFR alleen voor 89 uur. Daarnaast beschikt de HFR over batterijen die de koelingspompen voor twee uur kunnen aandrijven en de instrumentatie- en regelsystemen voor drie uur van stroom kunnen voorzien.

Bij het wegvallen van de warmteafvoer naar de Noordzee kan de splijtstof in de HFR gekoeld worden door het water in het primaire circuit en door het bassinwater. Koelen door het bassinwater is ook mogelijk als er geen elektriciteit beschikbaar is.

Het duurt zeker 25 dagen voordat het water in het bassin zakt tot een peil waarbij splijtstofschade kan optreden. Deze periode kan met 13 dagen verlengd worden door toevoer van water dat al aanwezig is en onbeperkt als er water van buiten kan worden toegevoerd.

5.9 Verbetermogelijkheden

Geïdentificeerde mogelijkheden tot verbetering	
M5	Installatie van externe connecties voor de noodstroomdiesels zou de tijds marge voor SBO vergroten.
M6	Installatie van meer lekdetectiesystemen in bepaalde HFR gebouwen en de WSF.
M7	Een mogelijkheid om gecontroleerd op afstand water van de PWN naar de bassins van de HFR en HCL te voeren.
M8	Een mogelijkheid om de convectiekleppen in de HFR op afstand te kunnen bedienen.
S8	Evaluatie van de mogelijkheid om de secundaire koeling met zeewater te voeden.
S9	Evaluatie van de mogelijkheid om water via de brandslangkoppelingen aan de bassins toe te voegen.
S10	Evaluatie van in hoeverre PWN water door zwaartekracht naar de HFR bassins gevoerd kan worden om het waterpeil daar op het peil van de reinwaterkelders van de PWN te brengen.
S11	Onderzoek naar vergroting van de batterijcapaciteit voor relevante veiligheidssystemen om monitoring en gegevensopslag voor een langere tijd mogelijk te maken.
P3	Handhaving van de brandstofvoorraden op minimaal 8.1 m ³ voor bedrijf van twee generatoren, of 8.6 m ³ bij gebruik van alle drie de generatoren.
P4	Ontwikkeling van een aantal procedures (of uitbreiding van de bestaande) om de volgende zaken te behandelen bij verlies van warmteput: <ul style="list-style-type: none">• Opwarmen van het primaire systeem• De overgang naar koeling door het bassinwater• Bijvullen van bassinwater Opzet van een trainingsprogramma.
P5	Ontwikkeling van een aantal procedures (of uitbreiding van de bestaande) om de volgende zaken te behandelen bij verlies van warmteput tegelijk met SBO: <ul style="list-style-type: none">• De overgang naar koeling door het bassinwater• Bijvullen van bassinwater Opzet van een trainingsprogramma.

6 Andere extreme gebeurtenissen

Dit hoofdstuk is een samenvatting van hoofdstuk 7 *Other extreme hazards* uit het Engelstalige rapport over het robuustheidsonderzoek.

6.1 Onderzochte scenario's

Als aanvullende eis van de Nederlandse veiligheidsautoriteiten bovenop de ENSREG eisen, is in het kader van dit robuustheidsonderzoek een lijst van een tiental zogenaamde andere extreme gebeurtenissen geanalyseerd.

Interne explosies

Binnen de faciliteiten van de OLP wordt gewerkt met gasflessen met diverse soorten potentieel explosieve gassen. Bij de HFR kan dit van invloed zijn op de veiligheidsfuncties en mogelijk de bekabeling van het reactorbeveiligingssysteem beschadigen. Er bleek echter onvoldoende bekend hierover, en additioneel onderzoek is aanbevolen. Bij de andere OLP faciliteiten is deze gebeurtenis niet van betekenis voor de nucleaire veiligheid.

Externe explosies

Potentieel explosieve bronnen buiten de OLP nucleaire faciliteiten zijn onderzocht, zowel op als rond de OLP. Deze bleken geen gevaar op te leveren voor de veiligheidsfuncties van de nucleaire faciliteiten van de OLP, enerzijds vanwege de afstand en anderzijds door afscherming door de duinen. Er zijn twee bronnen geïdentificeerd waarvoor nader onderzoek nodig is.

Interne brand

Bij het ontwerp van de OLP faciliteiten en de later toegevoegde veiligheden is uitgebreid aandacht besteed aan preventie, detectie en bestrijding van brand. Er is gebruik gemaakt van brandwerende materialen en interne ruimtes zijn gecompartmenteerd. Per faciliteit is aparte detectie- en blusapparatuur aangelegd. Op het terrein is een bedrijfsbrandweer aanwezig.

Brand als enkelvoudige gebeurtenis vormt geen probleem voor de veiligheidsfuncties van de OLP faciliteiten. Als de brand echter optreedt in combinatie met het falen van andere systemen, dan zou er gebrek aan koeling voor de reactor of verlies van containment voor de andere faciliteiten kunnen

optreden. De gevolgen hiervan worden afgedekt door scenario's elders gerapporteerd in dit robuustheidsonderzoek, zoals het verlies van warmteafvoer of stroomvoorziening.

Externe brand

Externe branden zouden kunnen optreden door duinbranden, branden bij andere organisaties op de OLP, en door naburig transport van brandbaar materiaal. Deze bronnen zijn onderzocht en bleken geen bedreiging te vormen voor de veiligheidsfuncties van de nucleaire faciliteiten van de OLP.

Vliegtuigongeluk

Vliegtuigbestendigheid was geen oorspronkelijke ontwerpeis voor de nucleaire faciliteiten van de OLP. Wel is onderzoek gedaan naar de gevolgen van een vliegtuigcrash op de faciliteiten. Het reactorgebouw van de HFR is niet bestand tegen een neerstortend vliegtuig en in de analyses wordt aangenomen dat de reactor daarbij beschadigd zal raken. In dat scenario zal vooral vanuit beschadigde splijtstof in het *bassin* een lozing van radioactiviteit in de atmosfeer optreden. Om de gevolgen van een dergelijk ongeval te bestrijden zijn er op diverse niveaus draaiboeken opgesteld: op de OLP zelf, bij de gemeente en in het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding op nationaal niveau. Ook bij neerstorten op de HCL, WSF en LFR is de radioactieve inventaris zodanig dat beschermende maatregelen buiten de OLP nodig kunnen zijn. Voor de andere faciliteiten blijven de gevolgen beperkt tot de OLP en directe omgeving.

Giftige gassen

Indien bij een ongeluk giftige gassen zouden vrijkomen, zouden zij een bedreiging kunnen vormen voor het regelzaalpersoneel van de HFR. De veiligheidssystemen blijven echter functioneren.

Grote netverstorenngen

In het landelijk elektriciteitsnet kunnen verstorenngen optreden zoals kortsluiting, frequentieverstorenngen, overspanning of spanningsdips. Deze komen typisch voor in de grote hoogspanningsnetten, waar de elektriciteitscentrales aan gekoppeld zijn. De grootte van de afstand tot de dichtstbijzijnde 150kV connectie, samen met het tweevoudig omlaagtransformeren naar respectievelijk 50 en 10 kV, geeft voldoende bescherming van de veiligheidsrelevante systemen van de OLP.

ICT-bedreigingen

Millennium-bug-achtige gebeurtenissen of per ongeluk ingebrachte computervirussen kunnen de ICT-systemen van de OLP bedreigen. De veiligheidssystemen van de nucleaire faciliteiten van de OLP worden echter hoofdzakelijk bediend met niet-ICT-gestuurde instrumentatie ('*hard-wired*'). Theoretisch

kan het regelzaalpersoneel in verwarring gebracht worden door verstoorde procesinformatie. Zij zijn echter getraind om pas actie te nemen als de informatie van het procesinformatiesysteem wordt bevestigd door de analoge instrumentatie in de regelzaal.

Interne overstroming

In de HFR gebouwen zou interne overstroming veroorzaakt kunnen worden door lekkage in de (koel)watersystemen. Verder is het PWN waterleidingnet een potentiële bron voor overstroming in alle gebouwen. Per gebouw is vastgesteld welke instrumenten er onder water komen te staan en wat dit voor gevolgen heeft. Voor enige gebouwen in de HFR zou dit kunnen leiden tot het verlies van warmte-afvoer of stroomvoorziening, gebeurtenissen die elders in dit robuustheidsonderzoek zijn beschreven. Voor de overige faciliteiten levert dit geen additionele gevaren voor de veiligheid op.

Blokkering koelwaterinlaat

Een blokkering van de koelwaterinlaat zou veroorzaakt kunnen worden door een schip dat strandt voor de koelwaterinlaat in het Noordhollands Kanaal, of door een biologisch fenomeen, zoals waterplanten in het koelwaterinlaatkanaal. Dit kan een tijdelijk gebrek aan koelwater opleveren, maar er is steeds voldoende tijd om de HFR af te schakelen en in een veilige toestand te brengen. Daarnaast is het binnen relatief korte tijd mogelijk om de blokkade op te heffen. Voor de andere nucleaire faciliteiten heeft deze gebeurtenis geen betekenis.

6.2 Conclusie

Voor deze tien extra beschouwde gebeurtenissen zijn er geen nieuwe potentiële gevolgen voor de nucleaire veiligheid gevonden. Een aantal nog onopgehelderde punten verdienen nadere aandacht.

6.3 Verbetermogelijkheden

Geïdentificeerde mogelijkheden tot verbetering	
M11	Bescherming van de regelzaal tegen binnendringen van toxische gassen en rook.
S17	Onderzoek naar het effect van interne explosies op de andere veiligheidsfuncties van de HFR naast containment.
S18	Het volgen van het lopende onderzoek naar de aanwezige explosieven op de schietbaan van de Koninklijke Marine direct naast de OLP gedurende schietoefeningen; er voor te zorgen dat de veiligheidsfuncties van de OLP onaangetast blijven bij ongelukken met deze explosieven.
S19	Onderzoek naar de effecten van een explosie of brand afkomstig van het gasdrukreducerstation op de OLP.
S20	Update van de bestaande brandanalyse van de HFR.
S21	Uitbreiding van de bestaande analyse van de consequenties van een radioactieve lozing door het neerstorten van een vliegtuig op de HFR.
S22	Het checken van alle veiligheidssystemen op de aanwezigheid van PLCs en hun kwetsbaarheid voor computermalware. Het opstellen van een algemeen beleid voor malware-bestendigheid bij aanpassingen van systemen.
P15	Het opstellen van een communicatieprotocol met de regionale brandweerkorpsen in geval van brand en andere externe bedreigingen.

7 Severe Accident Management

Dit hoofdstuk is een samenvatting van hoofdstuk 6 *Severe accident management* uit het Engelstalige rapport over het robuustheidsonderzoek.

Het uit de hand gelopen ongeval met de kerncentrale bij Fukushima in Japan was een schok voor de hele wereld, niet in de laatste plaats voor de kernenergiesector. In eerste instantie richtte alle aandacht zich op de vraag hoe dat ongeval zich überhaupt kon hebben voorgedaan. Vervolgens werd al snel de vraag actueel of iets dergelijks ook bij andere nucleaire installaties zou kunnen gebeuren. Zulke ongevallen worden standaard geanalyseerd in de veiligheidsanalyses die voor het verkrijgen en behouden van de vergunning nodig zijn. En de gevolgen van zulke ongevallen worden meegewogen in de risico's. In de loop van de tijd zijn de beperkingen die aan dergelijke risico's worden gesteld steeds verder aangescherpt. Dit waarborgt de beschikbaarheid van voorzieningen en voldoende middelen om de kans op ernstige ongevallen zo klein te maken als redelijkerwijs maar mogelijk is.

Het gevolg van deze internationaal gebruikelijke aanpak is dat de kans op zo'n ernstig ongeval ook heel klein is. Die kans is tegenwoordig zo klein, dat de Accident Management organisatie zich vooral voorbereidt op beheersing van kleinere ongevallen met een veel reëlere kans van optreden. Accident Management richt zich daarbij dan ook gebruikelijk op het voorkómen dat een gevaarlijke situatie zich tot een ernstig ongeval ontwikkelt. De lering van het ongeval bij Fukushima is vooral dat de Accident Management organisatie en de beschikbare voorzieningen en middelen ook voorbereid moet zijn om situaties effectief te beheersen die zich toch tot een ernstig ongeval ontwikkelen, ondanks alle inzet om dat te voorkomen.

Dit leerpunt staat dan ook centraal in de evaluatie van organisatie en maatregelen om de ernstige ongevallen te beheersen die zich mogelijk op de Onderzoekslocatie Petten (OLP) zouden kunnen ontwikkelen. Deze evaluatie valt uiteen in de volgende onderdelen:

- Accident Management organisatie;
- Beschikbare voorzieningen om een ernstig ongeval te voorkomen;
- Maatregelen om ernstige ongevallen te beheersen;
- Maatregelen om verspreiding van radioactieve stoffen te voorkomen.

7.1 Accident Management organisatie

De Interne Noodorganisatie (INO) vormt de gezamenlijke Accident Management organisatie op de Onderzoekslocatie Petten (OLP). INO omvat zowel conventionele als nucleaire veiligheid, EHBO, brandweer en beveiliging. De INO organisatie en INO procedures zijn afgestemd met de regionale¹⁰ (RBP¹¹) en nationale¹² (NPK) noodorganisaties. Bij een ongeval op de OLP is NRG als vergunninghouder verantwoordelijk voor de ongevalsbestrijding op de OLP en het informeren van de overheid daarover. De overheid is verantwoordelijk voor de ongevalsbestrijding buiten de OLP en het informeren van de bevolking.

Jaarlijks organiseert de Veiligheidsregio Noord-Holland Noord (VNHN) oefeningen voor INO en het regionale rampenplan (RBP). Evaluaties van deze oefeningen worden weer gebruikt om de INO organisatie te verbeteren.

De processen in de High Flux Reactor (HFR) vereisen continu toezicht. Daarom zijn bij de HFR altijd mensen aanwezig in de controlekamer en bij de bewaking (continudienst). Processen in de andere installaties worden alleen tijdens werktijd uitgevoerd. Buiten werktijd houdt de permanent bemande centrale meldpost (CMP) toezicht via het centrale gebouwbeheerssysteem (GBS). Bij afwijkingen wordt de eveneens permanent bemande bedrijfsbrandweer gealarmeerd. Zonodig wordt de betreffende installatiebeheerder opgeroepen (consignatiedienst).

Daarnaast worden ook onveilige situaties, ongevallen of noodgevallen direct bij de centrale meldpost (CMP) gemeld. Als situaties niet bij de installaties beheerst kunnen worden, alarmeert de CMP de commandant van de bedrijfsbrandweer. Deze beslist vervolgens of de Interne Noodorganisatie (INO) geactiveerd moet worden. Is dat het geval, dan worden de dienstdoende leden van het INO crisisteam samengeroepen in één van beide volledig voor deze taak ingerichte INO kamers. Onder leiding van het Hoofd INO evalueert het INO team de situatie en coördineert vervolgens het Accident Management op de OLP.

Bij noodgevallen levert de bedrijfsbrandweer één brandweerwagen met 6 brandweerlieden als snel-interventieteam. Zo nodig wordt een beroep gedaan op naburige brandweerkazernes. Bij de Hot Cell Laboratories (HCL) en de High Flux Reactor (HFR) kunnen besmette mensen en materieel ontsmet

¹⁰ Veiligheidsregio Noord-Holland Noord, *Rampenbestrijdingsplan Onderzoeks- en bedrijvenlocatie Petten*, rapport 070911 (2007)

¹¹ Rampbestrijdingsplan, RBP

¹² Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding – Responsplan, 2011

worden. Daarnaast beschikt de Veiligheidsregio Noord-Holland Noord (VNHN) over mobiele decontaminatie-*units*. De Veiligheidsregio kan ook aanvullend materieel met dieselgeneratoren en -pompen beschikbaar stellen. Verder zijn er afspraken met het Medisch Centrum Alkmaar (MCA) over behandeling van eventuele besmette slachtoffers.

Een ongeval bij de ene installatie kan ook de toegankelijkheid tot een andere installatie belemmeren. Dat speelt uiteraard vooral een rol voor installaties waarbij permanent mensen aanwezig moeten zijn, i.e. vooral de High Flux Reactor (HFR). In de controlekamer van de HFR zijn adembeschermingsmiddelen aanwezig. Een versterkte bescherming van de controlekamer tegen giftige gassen en rook zou de marges van INO vergroten.

Communicatie speelt een centrale rol bij INO. Daarbij wordt van alle beschikbare middelen gebruik gemaakt: vaste en mobiele telefonie, semafoon (P2000) en portofoon (C2000), als ook mobilfoon. Voor communicatie met de overheid is de directe telefoonlijn (Nationaal noodnet) beschikbaar. Bijna alle communicatie verloopt via de centrale meldpost (CMP). Uit de evaluatie van de INO organisatie kwam het mogelijke verlies van de CMP dan ook als kwetsbaarheid naar voren. Daarnaast werden maatregelen geïdentificeerd om enkele zwakke schakels in de communicatie te versterken.

Bij het evalueren van de mogelijke gevolgen van een overstroming bleek dat in zo'n geval met een langdurige overstroming van het achterland te rekenen is. Dat zou ook bevoorrading van de Onderzoeksllocatie Petten (OLP) met mensen en materieel langdurig belemmeren. Beschikbaarheid van lange-termijn voorzieningen voor het personeel (eten, opvangmogelijkheden) zou de marges van INO verruimen. Daarbij kan de voorspelbaarheid van dergelijke gebeurtenissen worden benut. Mogelijkheden tot opvang en behandeling van al dan niet besmette gewonden zou de mate van autonomie van INO versterken. Dat zou de effectiviteit van bestrijding van ernstige ongevallen onder zulke omstandigheden zeker verbeteren.

Geïdentificeerde mogelijkheden tot verbetering	
M11	Bescherming van de HFR controlekamer tegen giftige stoffen, rook enz. zou de marge in geval van 'overige gebeurtenissen' verruimen
M14	Het op meerdere plaatsen beschikbaar maken van de noodprocedures ('alarmrollen') en andere contactinformatie levert redundantie bij Severe Accident Management
M15	Installatie van een <i>repeater</i> van het C2000 noodnet binnen de HFR zou de bruikbaarheid van dit noodnet vergroten
M16	Beschikbaarheid van lange-termijn voorzieningen voor het personeel (eten, opvangmogelijkheden) zou de marges van INO verruimen
M23	Mogelijkheden om de mate van autonomie van INO te versterken zouden de beheersing van bedreigende externe gebeurtenissen en ernstige ongevallen verbeteren als externe ondersteuning als gevolg van extreme omstandigheden in het achterland ontbreekt
M25	De mogelijkheden tot opvang en behandeling van al dan niet besmette en mogelijk gewonde mensen op het terrein zelf zouden het Severe Accident Management van INO versterken als externe ondersteuning als gevolg van extreme omstandigheden in het achterland ontbreekt
S14	Er zal een analyse worden uitgevoerd om de noodzaak en haalbaarheid na te gaan van een tweede <u>communicatieruimte</u> om uitval van de centrale meldpost (CMP) op te vangen
S15	De mogelijkheden zullen worden onderzocht om beschikbaarheid van vervangend personeel en bij ernstige ongevallen benodigde interne voorzieningen te verbeteren
P10	Zorg voor heldere instructies hoe te handelen bij tijdelijke uitval van de CMP
P11	Zorg voor richtlijnen voor GSM-gebruik op het terrein bij noodgevallen
P12	Zorg voor procedures voor activering van INO door externe gebeurtenissen
P13	Zorg voor Accident Management procedures voor het geval de OLP onbereikbaar is voor externe noodorganisaties
P14	Zorg voor procedures voor onderlinge ondersteuning van installaties in geval van ernstige ongevallen

7.2 Beschikbare voorzieningen om een ernstig ongeval te voorkomen

Wat betreft de mogelijke gevolgen van een ernstig ongeval vormt de High Flux Reactor (HFR) de belangrijkste faciliteit op de Onderzoekslocatie Petten (OLP). Alleen daar is sprake van noodzakelijke nakoeling van een reactor evenals van daar opgeslagen gebruikte splijtstof. Wegvallen van koelingsmogelijkheden kan in principe tot een grote emissie van radioactieve stoffen leiden. Bij alle andere nucleaire installaties moet sprake zijn van verwoesting en een grote brand om grote emissies te veroorzaken. Omdat er in de installaties zelf weinig brandbaar materiaal aanwezig is, zijn hiervoor altijd externe oorzaken nodig. Zulke ongevallen komen aan het eind van deze paragraaf aan de orde.

De HFR beschikt over vele inherent veilige kenmerken. De HFR heeft een zogeheten 'tank in pool' ontwerp en wordt bij lage temperatuur en druk bedreven. Afhankelijk van de aard van de storing biedt dit

een tijdsvenster van dagen tot weken om koeling te herstellen of alternatieven daarvoor te implementeren. Bij de evaluatie zijn naast de in procedures vastgelegde acties vele alternatieve mogelijkheden geïdentificeerd om de reactor en de opgeslagen gebruikte splijtstof te koelen.

Geïdentificeerde mogelijkheden tot verbetering

P6	<p>Aanvullend op de bestaande 'bedrijfsvoorschriften' zal een set Accident Management procedures met bijbehorend trainingsprogramma worden ontwikkeld. Voorbeelden van daarin te behandelen punten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • bij de HFR mogelijke, momenteel nog niet in specifieke procedures vastgelegde Accident Management voorzieningen • Mogelijke reparatiemogelijkheden van grotere <i>bassin</i>-lekkages • Gebruik van losse mobiele pompen
----	--

7.3 Maatregelen om ernstige ongevallen te beheersen

Wat betreft maatregelen om ernstige ongevallen te beheersen wordt vanwege het verschil in gevaarzetting de High Flux Reactor (HFR) apart van de overige nucleaire installaties behandeld.

High Flux Reactor (HFR)

Het ontwerp van het primaire systeem van de High Flux Reactor (HFR) sluit een kernsmeltongeval bij hoge druk uit. In de HFR wordt de splijtstof omhuld door zuiver aluminium in plaats van zirconium zoals bij een kerncentrale. Daardoor ontstaat er onder ongevalscondities veel minder waterstof zodat ook geen explosief mengsel kan ontstaan. Analyses hebben aangetoond dat zelfs onder de meest extreme omstandigheden de druk in het *containment* (insluiting) van het reactorgebouw ruim onder de ontwerpdruk blijft. Mocht afblazen van besmette lucht nodig zijn, dan wordt deze over diverse filters geleid. Is de radioactiviteit te hoog, dan wordt volgens de bestaande procedure de lucht in het reactorgebouw over de filters gerecirculeerd. Bij volledige uitval van alle stroom en perslucht sluiten de veergesloten isolatiekleppen in het ventilatiesysteem. Zo nodig kan onder zulke condities nog lucht via het luchtbehandelingsgebouw gefilterd afgeblazen worden.

De HFR kent diverse procedures om de reactor af te schakelen. Mochten die alle falen, dan kan de reactor toch sub-kritiek gemaakt worden door in het reactorbassin een cadmiumplaat tegen de buitenkant van het reactorvat te plaatsen. Wel moet daarna binnen 45 uur voldoende reactiviteit uit de kern verwijderd of neutronenabsorbers toegevoegd worden om de reactor sub-kritiek te houden.

Voor beheersing van ernstige ongevallen noodzakelijke meetdata (druk, temperatuur, radioactiviteit) moesten tot nog toe op diverse plaatsen uitgelezen worden. Momenteel wordt deze meetapparatuur

aangesloten op het centrale monitoring systeem (CRM) waarmee ze in de controlekamer beschikbaar komen. Medio 2012 komt ook een gebunkerde noodmonitoringruimte gereed. Ook daarin zijn alle vitale meetdata beschikbaar en zijn de processen in de HFR ook in noodgevallen te bewaken.

Overige installaties

In de overige installaties vormen faalveilige ventilatiesystemen de opsluiting (*confinement*) van mogelijk in de gebouwen vrijkomende radioactieve stoffen. Deze systemen zijn uitgerust met diverse soorten filters en stralingsmonitoren. Bij detectie van radioactiviteit sluiten de veergesloten isolatiekleppen van het ventilatiesysteem. Dat gebeurt ook bij volledige stroomuitval. Waar nodig zijn ventilatie- en detectiesystemen aangesloten op de centrale noodstroomvoorziening. In die gevallen zijn de brand- en stralingsdetectors bovendien voorzien van back-up vermogen.

Sub-kritikaliteit van splijtstoffen in diverse installaties wordt gegarandeerd door een combinatie van voorzieningen en procedures. Sommige ongevallen (aardbeving, explosies, etc.) kunnen vervormingen veroorzaken. Er zal onderzocht worden of sub-kritikaliteit ook dan gegarandeerd is.

Veel detectiesystemen zijn aangesloten op het gebouwbeheersysteem (GBS), de stralingsmonitoren op het centrale monitoring systeem (CRM). Bij enkele, vooral oudere, installaties wordt nog aan modernisering van de meetapparatuur gewerkt. Bij de onlangs uitgevoerde evaluatie van de robuustheid is voor diverse detectiesystemen verbeteringspotentieel vastgesteld.

Geïdentificeerde mogelijkheden tot verbetering

M10	Met de afronding medio 2012 van de installatie van het Remote Monitoring System voor de HFR kan de HFR onder extreem ongunstige omstandigheden gecontroleerd worden
M12	Er zullen voorzieningen worden aangebracht om neutronenabsorbers in de kern te kunnen toevoegen ter controle van de reactiviteit van de HFR onder ongevalsomstandigheden
M13	De opslagfaciliteit van splijtbaar materiaal in de WSF trenches zal zodanig worden versterkt dat deformatie onder alle ongevalsomstandigheden uitgesloten is
S13	De voor de diverse locaties beschikbare veiligheidsanalyses qua kritikaliteit van opgeslagen splijtbaar materiaal zullen worden uitgebreid met het oog op mogelijke vervormingen van de opslagfaciliteiten door extreme gebeurtenissen
P7	Er zal een functieherstel procedure voor instandhouding van de <i>containment</i> -functie van de HFR ontwikkeld worden
P8	Ontwikkel functieherstel procedures voor instandhouding van de <i>confinement</i> -functie van de HCL-RL, HCL-MPF, JGL, WSF, DWT en STEK-hal
P9	Voor de bestaande situatie zal het plaatsen van de cadmiumplaat tegen het HFR-reactorvat getraind worden

7.4 Maatregelen om verspreiding van radioactieve stoffen te voorkomen

Als emissies van radioactieve stoffen niet meer te voorkomen zijn, worden die zo veel mogelijk beperkt. Wanneer *containment* (HFR) of *confinement* (overige installaties) nog enigszins intact zijn, zorgen de filtersystemen ervoor dat er alleen gasvormige en zeer vluchtige stoffen kunnen vrijkomen. Tegelijkertijd zullen alle acties erop gericht zijn om in de installatie de vrijzetting van radioactieve stoffen zoveel mogelijk te beperken. De constructie van de installaties zorgt in de meeste gevallen voor voldoende bescherming van reddingswerkers om noodmaatregelen effectief uit te voeren. Alleen bij zeer ernstige ongevallen kunnen onmiddellijke acties om de gevolgen van het ongeval te beperken door straling van afwezige radioactieve stoffen bemoeilijkt worden. Daarbij moet gedacht worden aan kernsmelten bij de High Flux Reactor (HFR) of verwoesting met grote brand bij de overige installaties.

Het *containment* van het reactorgebouw van de HFR is sterk genoeg om zelfs bij een kernsmeltongeval emissies van radioactieve stoffen effectief tegen te gaan. Wel kan in zo'n geval het gebouw zelf een sterke stralingsbron gaan vormen. In extreme gevallen zou de toegang tot het terrein voor dagen, tot het HFR-terrein zelfs voor weken beperkt moeten worden. Door de constructie van de HFR verlopen de scenario's van zulke ongevallen zeer langzaam, van dagen tot zelfs weken. Die periode biedt meer dan genoeg tijd om processen in andere installaties veilig af te sluiten en personeel te evacueren. Externe noodorganisaties zouden ruim de tijd hebben om maatregelen volgens plan voor te bereiden en uit te voeren. Via het Remote Monitoring System (RMS) in de gebunkerde noodmonitoringruimte blijft onder alle omstandigheden toezicht mogelijk op de relevante systemen en ontwikkelingen in de HFR.

Bij de overige nucleaire installaties op de Onderzoekslocatie Petten (OLP) zijn de mogelijkheden van relevante emissies van radioactieve stoffen klein. Alleen verwoesting van de gebouwen gepaard met een grote brand zou tot relevante emissies kunnen leiden. Dit zou door een vliegtuigcrash veroorzaakt kunnen worden. In zulke gevallen kunnen reddingswerkers bij de bestrijding van het ongeval beperkt worden door straling van aanwezige radioactieve stoffen. Bij blussen van branden moet altijd gerekend worden met radioactieve besmetting van het bluswater. Het bluswater moet daarom verzameld worden. Mogelijk besmet bluswater kan in het waterbehandelingsgebouw van de Decontamination & Waste Treatment (DWT) installatie worden opgeslagen en gereinigd.

Bij bestrijding van brand bij de diverse installaties moet de brandweer uiteraard rekening houden met het mogelijk vrijkomen van radioactieve stoffen. Meestal volstaan daarvoor de voor de brandweer normale voorzorgsmaatregelen zoals adembescherming en geschikte benaderingsrichtingen; binnenin gebouwen zal perslucht worden gebruikt. Ingezet personeel en materieel wordt na inzet op radioactiviteit gecheckt en zonodig bij HFR, HCL of DWT ontsmet (decontaminatie).

Er zijn enkele plekken geïdentificeerd waar onder omstandigheden de stralingsdosis van reddingswerkers bewaakt zal moeten worden. Zo zou bijvoorbeeld een lage waterstand van het bassin voor splijtstofopslag in de Hot Cell Laboratories (HCL) lokaal tot een hoog stralingsveld leiden. Omdat het daar geen verspreidbare radioactieve stoffen betreft, is er voldoende tijd om effectieve maatregelen (afscherming) voor te bereiden en in te zetten. Ook bij verwoesting van de afscherming van de Waste Storage Facility (WSF), verlies van afscherming van de calibratiebronnen in de LFR-hal of lekkage van een vat met hoogradioactief vloeibaar radioactief afval in de STEK-hal zou de stralingsdosis van reddingswerkers bewaakt moeten worden.

Geïdentificeerde mogelijkheden tot verbetering

S12	Er zal een analyse worden gemaakt van de mogelijke radiologische beperkingen voor ongevalsbestrijders bij een verlaagde waterstand in het bassin van de HCL-RL
S16	Mogelijkheden om tegenmaatregelen voor te bereiden en uit te voeren zullen geëvalueerd worden, zoals stralingsafscherming, bedekken van puin, verzamelen, opslaan en verwerken van besmet water, decontaminatie van materieel en mensen bij ernstige ongevallen

7.5 Conclusie

De Accident Management organisatie op de Onderzoekslocatie Petten (OLP) beschikt over adequate procedures, voorzieningen en maatregelen om bij ongevallen emissies van radioactieve stoffen effectief te voorkomen en te bestrijden. Bij de uitgevoerde evaluatie van potentiële zeer ernstige ongevallen zijn diverse verbeteringsmogelijkheden geïdentificeerd om de effectiviteit van Severe Accident Management verder te vergroten.

Lijst van figuren

Figuur 1: 3-D artist impressie van het reactorbassin van de HFR	10
Figuur 2: Hoogtekaart voor de OLP en omgeving in meters boven NAP.	21

Lijst van afkortingen

CMP	Centrale meldpost
CRM	Centrale monitoring systeem
DWT	Decontamination & Waste Treatment Faciliteit
10-EVA	Tienjaarlijkse uitgebreide veiligheidsevaluatie
GBS	Gebouwbeheerssysteem
HCL	Hot Cell Laboratoria (HCL)
HCL-RL	Research laboratorium van HCL
HCL-MPF	Molybdeen Productie Faciliteit
HFR	Hoge Flux Reactor
INO	Interne Noodorganisatie
INSARR	Integrated Safety Assessment of Research Reactors
JGL	Jaap goedkoop laboratorium
KFD	Kernfysische Dienst
LFR	Lage Flux Reactor
LOOP	Loss Of Off-site Power
LUHS	Loss of Ultimate Heat Sink
MCA	Medisch Centrum Alkmaar
NAP	Nieuw Amsterdams Peil
OLP	Onderzoekslocatie Petten
SAM	Severe accident management
SBO	Station Blackout.
VNHN	Veiligheidsregio Noord-Holland Noord
WSF	Waste Storage Faciliteit