BELGIAN STRESS TESTS

FANC

federaal agentschap voor nucleaire controle

Belgische Weerstandstesten

Nationaal rapport voor de kerncentrales



23 december 2011

Belgische weerstandstests
Nationaal rapport voor de kerncentrales

Dit nationaal verslag wordt verstrekt door de Belgische veiligheidsautoriteit (FANC en Bel V) aan de Europese Commissie als een onderdeel van het weerstandstestsprogramma dat van toepassing is op de Belgische kerncentrales in antwoord op het Fukushima-Daiichi ongeval.

Disclaimer

Dit verslag is een Nederlandstalige vertaling van het officiële Engelstalige "National Report for Nuclear Power Plants". Bij twijfel of onduidelijkheden is de Engelstalige versie de enige geldende versie van dit verslag.

Review	Review datum	Beschrijving wijziging	Auteur
0	2011-12-23	Eerste editie	FANC-Bel V

Inleiding

België is steeds een pioniersland geweest in de ontwikkeling van kernwetenschappen en technologie voor vreedzame doeleinden. België telt zeven kernreactoren voor elektriciteitsproductie verdeeld over twee sites :

- De site van Doel, gelegen langs de Schelde in de nabijheid van Antwerpen (Vlaanderen), herbergt vier reactoren :
  - Doel 1/2: tweelingeenheid van 433 MWe elk, in bedrijf gesteld in 1975;
  - Doel 3: eenheid van 1 006 MWe, in bedrijf gesteld in 1982;
  - Doel 4: eenheid van 1 039 MWe, in bedrijf gesteld in 1985.
- De site van Tihange, gelegen langs de Maas, nabij Luik (Wallonië) herbergt drie reactoren :
  - Tihange 1: eenheid van 962 MWe, in bedrijf gesteld in 1975;
  - Tihange 2: eenheid van 1 008 MWe, in bedrijf gesteld in 1983;
  - Tihange 3: eenheid van 1 054 MWe, in bedrijf gesteld in 1985.

Beide sites worden uitgebaat door dezelfde exploitant Electrabel, filiaal van de groep GDF-SUEZ.

Voor alle aspecten inzake nucleaire veiligheid, staan de activiteiten van de exploitant onder het toezicht van de Belgische veiligheidsautoriteit[1], die bestaat uit

- Het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC);
- Bel V, het technisch filiaal van het FANC.

De in België uitgebate kerncentrales vertonen kenmerken die resulteren uit de:

- Ontwerpbases voor elke eenheid;
- Wijzigingen die later werden doorgevoerd tijdens de levensduur van de installatie.

In het ontwerpstadium werden de centrales zo gedimensioneerd om aan de toen geldende vereisten inzake veiligheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid te beantwoorden en om aan vooraf bepaalde ongevalsscenario's weerstand te bieden. De ontwerpregels die werden gebruikt bevatten bepaalde veiligheidsmarges (conservatieve aannames in de modellen, veiligheidscoëfficiënten in de berekeningen, penaliserende hypotheses in de de ongevalsscenario's,…)

De op een bepaalde datum toegepaste ontwerpregels houden rekening met de stand van zaken van de wetenschappelijke kennis (bv. schatting van de aardbevingsniveaus in een bepaalde regio), met de beschikbare technologieën (bv. voorspanning van het beton), evenals met de beste praktijken die gewoonlijk worden toegepast in de betrokken sector (bv. gebruik van een dubbel containment). Deze ontwerpregels zijn mettertijd geëvolueerd en de nu uitgebate eenheden vertonen dus noemenswaardige verschillen, afhankelijk van hun datum van ingebruikstelling.

In bepaalde gevallen werd er met bepaalde ongevallen geen rekening gehouden bij het ontwerp, hetzij omdat de dreiging toen niet als geloofwaardig werd beschouwd (bv. terroristische vliegtuiginslag), hetzij omdat de jaarlijkse waarschijnlijkheid dat er zich een ongeval zou voordoen met mogelijk ernstige gevolgen verwaarloosbaar was (bv. tornado). Dat is voornamelijk het geval voor de oudste eenheden (Doel 1/2 en Tihange 1). In dit geval werd de weerstand van de eenheden a posteriori geëvalueerd om de toegelaten maximale belastingsniveaus te bepalen en een uitspraak te kunnen doen over de indien nodig uit te voeren corrigerende acties.

Er werden dus wijzigingen aangebracht tijdens de levensduur van de installaties om er desgevallend de nodige verbeteringen aan aan te brengen, rekening gehouden met de nieuwe kennis en de beschikbare technologieën en de nieuwe geldende regels. Deze verbeteringen houden rekening met de ervaringsfeedback van ongevallen die zich in het buitenland hebben voorgedaan (Three Mile Island, Tchernobyl), en met de evolutie van de regelgeving op nationaal (federale regelgeving) en

[1] Meer informatie over de Belgische veiligheidsautoriteit en de nucleaire inrichtingen is beschikbaar op de FANC website (http://www.fanc.fgov.be), meer specifiek in het rapport uit 2010 voor de Convention on Nuclear Safety.

internationaal niveau (normen en richtlijnen van het IAEA, regels van de Amerikaanse Nuclear Regulatory Commission...). Ze worden uitgevoerd tijdens de periodieke (tienjaarlijkse) veiligheidsherzieningen, of via specifieke actieplannen die spontaan door de exploitant, of op vraag van de veiligheidsautoriteit worden uitgevoerd.

De basisprincipes van de veiligheid, zoals de "defence-in-depth" (diepteverdediging), de redundantie van de voor de veiligheid belangrijke uitrusting, de fysieke of geografische scheiding, alsook de diversificatie van deze uitrusting, werden van bij het ontwerp toegepast en er werden upgrades uitgevoerd op de oudste eenheden om hun robuustheid te verbeteren t.a.v. bepaalde scenario's waarmee bij het ontwerp geen rekening werd gehouden. De structuren werden tevens, daar waar nodig, versterkt.

Alle eenheden beschikken op dit ogenblik over:

- veiligheidssystemen van het eerste niveau om de gevolgen van interne en externe ongevallen die de installatie kunnen bedreigen, op te vangen;

- veiligheidssystemen van het tweede niveau (noodsystemen) bestemd als ultiem redmiddel om het verlies van uitrusting van het eerste niveau te compenseren, met name ingevolge ongevallen waarmee geen rekening werd gehouden bij het ontwerp van het eerste niveau;

- verschillende elektrische stroomvoorzieningbronnen: hoogspanningsleidingen van het externe net, zelfvoorziening via eilandbedrijf, dieselgeneratoren, set van batterijen/invertoren;

- verschillende koelingsbronnen, met verschillende watertoevoermiddelen: stroom langs de site (Schelde in Doel, Maas in Tihange), artificiële koelvijvers (Doel), en boringen in grondwater (Tihange) ;

- interne noodplannen die in lijn zijn met de noodplannen van de overheden: crisiscentra, diagnostische middelen, noodprocedures….

Deze middelen laten toe om het hoofd te bieden aan apart bestudeerde ongevalscenario's.

Het ongeval te Fukushima-Daiichi heeft echter aangetoond dat het samenvallen van verschillende initiërende gebeurtenissen (aardbeving, tsunami, overstroming, waterstofexplosies) kan leiden tot bijzonder ongunstige omstandigheden waarvoor de centrales en de exploitant niet voldoende voorbereid waren: beschadiging van het containment, totaal verlies van de elektrische voeding, totaal verlies van de koelingsmiddelen, moeilijkheden m.b.t. de toegang tot de site…. Het feit dat verschillende eenheden van eenzelfde site tegelijkertijd getroffen werden, was tevens een verzwarende factor voor de beheersing van het ongeval.

Als gevolg hiervan werd er een omvangrijk veiligheidsherevaluatieprogramma opgestart in de lidstaten van de Europese Unie die over kerncentrales op hun grondgebied beschikken. Dit weerstandstestsprogramma ("stress tests") is een herevaluatie (op basis van technische studies, berekeningen en engineering judgement) van de veiligheidsmarges van de Europese kerncentrales t.a.v. extreme natuurlijke gebeurtenissen om hieruit de gepaste lessen te kunnen trekken. De aanpak is in essentie deterministisch, en zou zich niet enkel moeten richten op preventieve maar ook op mitigerende maatregelen.

Het Belgisch weerstandstestsprogramma omvat de zeven nucleaire reactoren van Electrabel (met inbegrip van voor elk van hen hun opslagbekken voor gebruikte splijtstof), evenals de twee installaties voor de opslag van gebruikte splijtstof die gemeenschappelijk op elk van de sites gebruikt worden:

- het gebouw "SCG" te Doel (droge opslag in containers);
- en het gebouw "DE" te Tihange (opslag in splijtstofdokken).

Overeenkomstig de Europese specificaties omvat het Belgisch weerstandstestsprogramma drie opeenvolgende fasen:

1. De exploitant voert de weerstandstests uit in zijn installaties en maakt een finaal verslag over aan de Belgische veiligheidsautoriteit. In dit verslag beschrijft de exploitant de reactie van de installaties in het geval van de diverse extreme scenario's, en geeft hij aan waar mogelijke verbeteringen kunnen ingevoerd worden om de veiligheid te verhogen.
2. De veiligheidsautoriteit onderzoekt het verslag van de exploitant en evalueert de aanpak en de verkregen resultaten. Op deze basis stelt de veiligheidsautoriteit een nationaal verslag op.
3. De nationale verslagen van alle veiligheidsautoriteiten maken deel uit van een internationale peer review: elk nationaal verslag wordt onderzocht door andere veiligheidsautoriteiten verantwoordelijk voor de nucleaire veiligheid in de 27 Europese landen. Deze fase verhoogt de coherentie in het volledige proces en laat toe om ervaringen te delen tussen de veiligheidsautoriteiten.

Nadien zal de Europese Commissie een finaal verslag opstellen dat voorgelegd wordt aan de Europese Raad, om een algemeen overzicht van de situatie in de Europese kerncentrales weer te geven.

De eerste fase van het Belgische weerstandstestsprogramma voor de kerncentrales werd op een korte termijn uitgevoerd tot 28 oktober 2011 (overmaken van de verslagen van de exploitant aan de veiligheidsautoriteit). Tijdens deze fase werden ongeveer 40 ingenieurs en experten van Electrabel en zijn studiebureau Tractebel Engineering ingeschakeld, evenals een aantal externe experten gespecialiseerd in verschillende domeinen (aardbeving, overstroming,…)

De tweede fase van het programma werd uitgevoerd door het FANC en zijn technisch filiaal Bel V, wiens experten een grondige kennis hebben van de installaties. De evaluatie van de aanpak en de resultaten verstrekt door de exploitant hield onder meer een gedetailleerde analyse in van de verslagen van de exploitant en de onderliggende documenten. Technische vergaderingen met de exploitant en inspecties op de site werden uitgevoerd om de realiteit, de pertinentie en de robuustheid van bepaalde sleutelgegevens waarmee de exploitant in zijn onderzoeken rekening heeft gehouden, te bevestigen. Dit proces leidde tot de opmaak van dit nationaal verslag.

Zoals vereist in de ENSREG specificaties, behandelt het Belgisch nationaal verslag voor de kerncentrales de volgende risico's:

- Aardbeving;
- Overstroming;
- Extreme weersomstandigheden;
- Verlies van stroomvoorziening en verlies van de ultieme koudebron;
- Beheer van ernstige ongevallen.

Op vraag van de Belgische federale regering, werden terroristische handelingen (vliegtuiginslag) en andere door de mens veroorzaakte gebeurtenissen (cyber attack, toxische en explosieve gassen, schokgolven) ook als initiërende gebeurtenis opgenomen in het Belgische weerstandstestsprogramma.
De evaluaties van deze door de mens veroorzaakte gebeurtenissen behoorden evenwel niet tot het toepassingsgebied van de Europese weerstandstestsprogramma's en daarom worden ze in een apart nationaal verslag uitgewerkt dat geen deel zal uitmaken van een internationale peer review.

Om een op zichzelf staand nationaal verslag te kunnen aanbieden voor het peer review proces, worden in elk hoofdstuk de relevante data die hieromtrent door de exploitant in zijn weerstandstestsverslagen worden verstrekt, samengevat. De conclusies en de evaluatie door de Belgische veiligheidsautoriteit (FANC en Bel V) wordt aan het einde van elk hoofdstuk gegeven.

Als onderdeel van het transparantiebeleid van de veiligheidsautoriteit is dit nationaal verslag toegankelijk voor het publiek en de media via de website van de Belgische veiligheidsautoriteit (http://www.fanc.fgov.be).

Inhoudstafel

Inleiding 3
Inhoudstafel 6
1. Algemene beschrijving 9
1.1. Kenmerken van de site 9
1.1.1. Hoofdkenmerken van de eenheden 10
1.2. Significante verschillen tussen de eenheden 13
1.2.1. Doel site 13
1.2.2. Site van Tihange 16
1.3. Gebruik van probabilistische veiligheidsstudies als deel van de veiligheidsevaluatie 18
1.4. Lijst afkortingen 19
2. Aardbeving 24
2.1. Ontwerpbasis 24
2.1.1. Aardbeving waartegen de centrales ontworpen zijn 24
2.1.2. Voorzieningen om de centrales te beschermen tegen de ontwerpaardbeving 28
2.1.3. Conformiteit van de centrale met de ontwerpbasis waarover ze momenteel beschikt 36
2.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges 38
2.2.1. Aardbevingsbereik leidend tot ernstige splijtstofschade – Beschrijving van SMR-methodologie 38
2.2.2. Aardbevingsbereik leidend tot verlies van integriteit van het containment 46
2.2.3. Aardbeving die de ontwerpaardbeving voor de centrales overtreft en bijhorende overstroming die de ontwerpoverstroming overtreft 48
2.3. Samenvatting van de belangrijkste door de exploitant voorgestelde resultaten 51
2.4. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit 53
3. Overstroming 54
3.1. Ontwerpbasis 54
3.1.1. Overstroming waartegen de centrales bestand zijn 54
3.1.2. Voorzieningen om de centrales te beschermen tegen de ontwerpoverstroming 56
3.1.3. Conformiteit van de centrale met de huidige ontwerpbasis 60
3.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges 62
3.2.1. Berekening van de veiligheidsmarge tegen overstroming 62
3.2.2. Maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid van de centrales tegen overstroming te verbeteren. 70
3.3 Samenvatting van de belangrijkste door de exploitant voorgestelde resultaten 73
3.3.1. Kerncentrale Tihange 73
3.3.2. Kerncentrale Doel 75
3.4. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit 76
3.4.1. Kerncentrale Tihange 76
3.4.2. Kerncentrale Doel 77
4. Extreme weersomstandigheden 78
4.1. Hevige regenval 78
4.1.1. Herevaluatie van de hevige regenval die gebruikt werd bij de ontwerpbasis 78
4.1.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges m.b.t. hevige neerslag 80
4.1.3. Maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid tegen hevige neerslag te verhogen 81
4.2. Hevige wind 82
4.2.1. Herevaluatie van de hevige wind waarmee rekening werd gehouden bij het ontwerp 82
4.2.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges tegen hevige wind 82
4.2.3. Maatregelen die voorzien kunnen worden om de robuustheid tegen hevige wind te verhogen 84
4.3. Tornado's 85
4.3.1. Herevaluatie van tornado's gebruikt bij het ontwerp 85
4.3.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges m.b.t. tornado's 86
4.3.3. Maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid tegen tornado's te verhogen 89

4.4. Bliksem 90
4.4.1. Herevaluatie van de bliksem als ontwerpbasis 90
4.4.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges tegen bliksem 90
4.4.3. Maatregelen die kunnen worden voorzien om de weerstand tegen blikseminslag te verhogen 90
4.5. Sneeuw 91
4.5.1. Herevaluatie van sneeuwval als ontwerpbasis 91
4.5.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges m.b.t. sneeuwval 91
4.5.3. Maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid tegen sneeuwval te verhogen 92
4.6. Hagel 93
4.7. Andere extreme weersomstandigheden 94
4.8. Samenvatting van de belangrijkste door de exploitant voorgestelde resultaten 95
4.9. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit 97
5. Verlies van elektrische stroomvoorziening en verlies van de ultieme koudebron 98
5.1. Verlies van stroomvoorziening 99
5.1.1. Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP) 102
5.1.2. Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP) en verlies van 1ste niveau on-site back-upstroomvoorzieningen (station black-out) 105
5.1.3. Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP) en verlies van alle on-site back-up stroomvoorzieningen (volledige Station Black-out) 113
5.2. Verlies van koudebron 120
5.2.1. Verlies van de primaire ultieme koudebron (LUHS) 120
5.2.2. Verlies van de primaire ultieme koudebron en de alternatieve ultieme koudebron(nen) ... 130
5.3. Verlies van de primaire ultieme koudebron in combinatie met verlies van externe stroomvoorziening en verlies van de 1ste niveau interne back-up stroomvoorziening 139
5.3.1. Autonomie van de site vóór beschadiging van de splijtstof 139
5.3.2. Voorziene (externe) acties om beschadiging van de splijtstof te voorkomen 141
5.3.3. Maatregelen die kunnen overwogen worden om de robuustheid van de installaties te vergroten 141
5.4. Verlies van de primaire ultieme koudebron in combinatie met een volledige Station Black-out 142
5.5. Verlies van de primaire ultieme koudebron in combinatie met verlies van externe stroomvoorziening en Design Basis Earthquake 143
5.5.1. Autonomie van de site vóór beschadiging van de splijtstof 143
5.5.2. Voorziene (externe) acties om beschadiging van de splijtstof te voorkomen 145
5.6. Opslag van gebruikte splijtstof 146
5.7. Synthese van de belangrijkste resultaten voorgesteld door de exploitant 147
5.7.1. Scenario "Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP)" 149
5.7.2. Scenario “Station black-out (SBO)” 149
5.7.3. Scenario “Volledige SBO” 150
5.7.4. Scenario "Verlies van de primaire ultieme koudebron" 151
5.7.5. Scenario "Verlies van de primaire en alternatieve ultieme koudebronnen" 151
5.7.6. Scenario "Verlies van de primaire UHS met SBO" 152
5.7.7. Scenario "Verlies van de primaire UHS met volledige SBO" 152
5.7.8. Scenario "Verlies van de primaire UHS, LOOP en aardbeving DBE" 152
5.7.9. Splijtstofdokken 152
5.8. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit 153
6. Beheer van ernstige ongevallen 155
6.1. Organisatie en maatregelen van de exploitant om ongevallen te beheren 155
6.1.1. Organisatie van de exploitant om het ongeval te beheren 155
6.1.2. De mogelijkheid om bestaande uitrusting te gebruiken 161
6.1.3. Evaluatie van factoren die beheer van ongevallen kunnen verstoren en geasssocieerde onvoorziene gebeurtenissen 167
6.2. Verlies van koeling: ongevallenbeheermaatregelen die van kracht zijn in de verschillende fasen van een scenario van verlies van koeling 173
6.2.1. Vóór beschadiging van de splijtstof in het drukvat van de reactor 173
6.2.2. Na beschadiging van de splijtstof in drukvat van de reactor 174

6.2.3. Na faling van het reactorvat 175
6.2.4. Cliff-edge-effecten en timing 176
6.2.5. Adequaatheid van het huidige ongevallenbeheer en mogelijke bijkomende maatregelen . 180
6.3. Ongevallenbeheermaatregelen om de integriteit van het containment te handhaven na beschadiging van de kern 185
6.3.1. Beheer van waterstofrisico's in het containment 185
6.3.2. Voorkomen van overdruk in het containment 186
6.3.3. Vermijden van herkritikaliteit 186
6.3.4. Voorkomen van basemat melt through 187
6.3.5. Behoefte aan en toevoer van gelijk- en wisselstoom en perslucht naar de uitrusting ter bescherming van de integriteit van het containment 188
6.3.6. Cliff-edge-effecten en timing 189
6.3.7. Huidige ongevallenbeheermaatregelen voor het herstel van een stabiele en gecontroleerde toestand 192
6.3.8. Overzicht van de strategieën en middelen om ongevallen te beheren 192
6.4. Ongevallenbeheermaatregelen om radioactieve lozingen te beperken 196
6.4.1. Vermindering van de lozing van splijtingsproducten 196
6.4.2. Injectie van water in de stoomgeneratoren om de splijtingsproducten te vangen die uit de beschadigde stoomgeneratorpijpen lekken. 196
6.4.3. Injectie van water in de primaire kring om de splijtingsproducten te vangen die uit de kernfragmenten vrijkomen. 196
6.4.4. Injectie van water in het containment 197
6.4.5. Controle omstandigheden containment 197
6.4.6. Injectie van water in de reactorput 197
6.5. Ongevallenbeheermaatregelen voor verlies van koeling van splijtstofdokken 198
6.5.1. Huidige ongevallenbeheermaatregelen 198
6.5.2. Cliff-edge-effecten en timing 199
6.5.3. Benodigde instrumentatie om de gebruikte splijtstof te controleren en het ongeval te beheren 202
6.5.4. Waterstofaccumulatie 202
6.5.5. Adequaatheid van de huidige ongevallenbeheermaatregelen en mogelijke bijkomende maatregelen 203
6.5.6. Terugkeer naar een stabiele en gecontroleerde toestand 204
6.6. Samenvatting van de belangrijkste resultaten voorgesteld door de exploitant 205
6.7. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit 206
7. Algemene conclusies 208
7.1. Belangrijkste door de exploitant voorgestelde resultaten en veiligheidsverbeteringen 208
7.1.1. Aardbevingen 208
7.1.2. Overstroming 209
7.1.3. Extreme weersomstandigheden 210
7.1.4. Verlies van de elektrische voeding of de koudebron 210
7.1.5. Noodplanorganisatie en beheer van ernstige ongevallen 211
7.1.6. Actieplan 213
7.2. Samenvatting van de evaluatie en de bijkomende verbeteringen vereist door de veiligheidsautoriteit 216
7.2.1. Aardbeving 217
7.2.2. Overstroming 217
7.2.3. Extreme weersomstandigheden 219
7.2.4. Verlies van elektriciteitsvoorziening en verlies van de ultieme koudebron 219
7.2.5. Beheer van ernstige ongevallen 220

1. Algemene beschrijving

1.1. Kenmerken van de site

De Belgische kerncentrales bevinden zich op twee verschillende sites: Doel en Tihange. Ze worden uitgebaat door Electrabel, een bedrijf dat behoort tot de GDF-SUEZ groep.

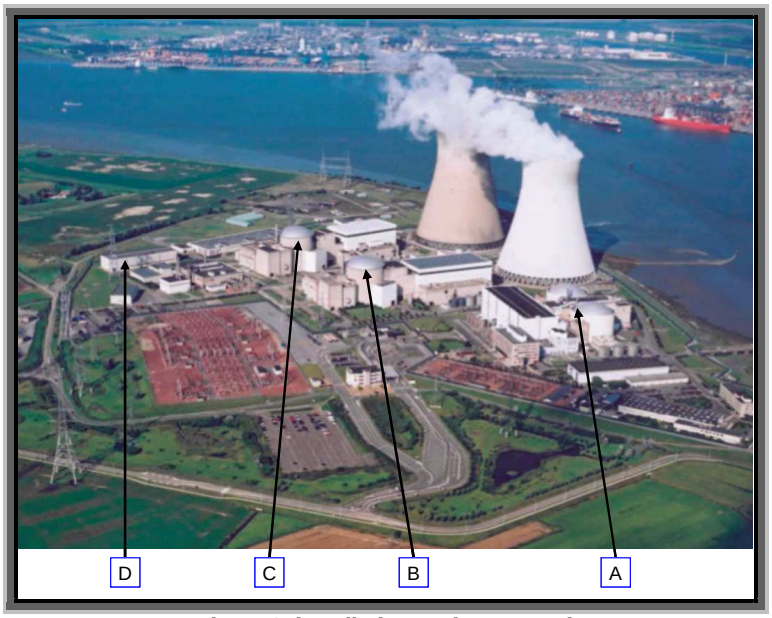


Figuur 1: Kerncentrales in België

Kerncentrale Doel

De kerncentrale Doel is gelegen in de haven van Antwerpen, op de linkeroever van de Schelde, op 15 km ten noordwesten van Antwerpen (Vlaanderen) en op slechts 3 km van de grens tussen België en Nederland.
De site bestaat uit de volgende installaties:

- de nucleaire tweelingcentrale Doel 1/2 (A);
- de nucleaire centrale Doel 3 (B);
- de nucleaire centrale Doel 4 (C);
- het splijtstofcontainergebouw voor de droge opslag van splijtstofelementen SCG (D).



Figuur 2: installaties op site van Doel

Kerncentrale Tihange

De site van Tihange is gelegen op het grondgebied van de vroegere gemeente Tihange op de rechteroever van de Maas. Tihange is nu een deel van de stad Hoei, gelegen op 25 km afstand van Luik. De site herbergt de volgende installaties:

- nucleaire centrale Tihange 1 (A),
- nucleaire centrale Tihange 2 (B),
- nucleaire centrale Tihange 3 (C),
- DE-gebouw (natte opslag van gebruikte splijtstof) (D).



Figuur 3: installaties op site van Tihange

1.1.1. Hoofdkenmerken van de eenheden

1.1.1.1. Site van Doel

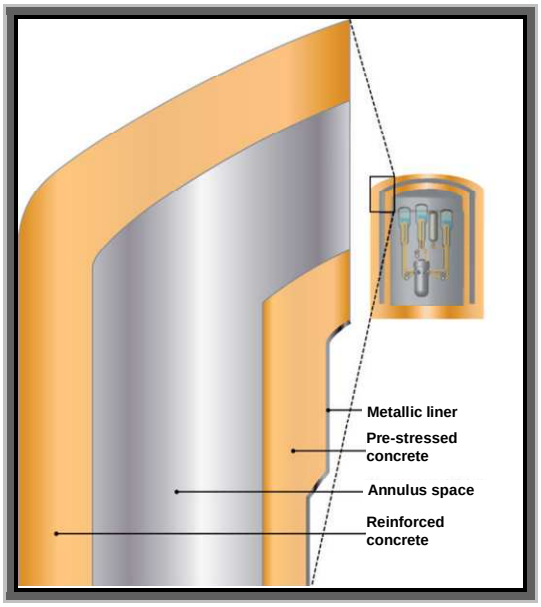
In ondervermelde tabel worden de hoofdkenmerken vermeld van de eenheden die zich op de site van Doel bevinden:

Tabel 1: Kenmerken van eenheden op site van Doel

Eenheden	Type	Thermisch vermogen (MWth)	Eerste kriticaliteit	Reactor-gebouw	Stoomgenerator vervanging	Opslag van bestraalde splijtstof	Ontwerper
Doel 1	PWR (2 lussen)	1 312	1974	Dubbel omhulsel (staal en beton)	2009	664 posities	Westing-house
Doel 2	PWR (2 lussen)	1 312	1975	Dubbel omhulsel (staal en beton)	2004		Westing-house
Doel 3	PWR (3 lussen)	3 064	1982	Dubbel omhulsel (beton met liner en beton)	1993	672 posities	Framatome

Doel 4	PWR (3 lussen)	3 000	1985	Dubbel omhulsels (beton met liner en beton)	1997	628 posities	Westing-house
SCG building	-	-	-	-	-	165 containers	Tractebel Engineering

De vier reactorgebouwen van Doel zijn uitgerust met een dubbel omhulsel.
Bij Doel 1/2 bestaat het primair (binnenste) containment uit een stalen bol. Het secundair (buitenste) containment bestaat uit een cilindervorm in gewapend beton waarop een halfronde koepel rust. Het secundair containment omhult het primair containment dat daardoor beveiligd is tegen ongevallen.
Bij Doel 3 en 4 bestaat het primair containment uit een cilinder waarop een koepel in de vorm van een bolkap is opgetrokken. Beide structuren zijn vervaardigd uit spanbeton. Dit containment is bekleed met een "liner" in staal die de dichtheid garandeert. Het secundair containment van de reactorgebouwen van Doel 3 en 4 bestaat tevens uit een structuur in gewapend beton die rond het primair containment loopt en zo het primair containment beschermt tegen externe ongevallen.



Figuur 4: Dubbel containment van de reactorgebouwen van Doel 3 en Doel 4

De splijtstof van Doel 1/2 wordt in gemeenschappelijke dokken opgeslagen in het gebouw van de nucleaire hulpdiensten (GNH).
De splijtstof van Doel 3 en 4 wordt op elke eenheid in dokken opgeslagen. De dokken en de koelkring bevinden zich in het gebunkerd splijtstofgebouw (SPG).

Na een voldoende afkoelingsperiode wordt de splijtstof van Doel 1/2, Doel 3 en 4 overgebracht naar het splijtstofcontainergebouw (SCG). Dit gebouw, dat in gewapend beton is opgetrokken, fungeert als droge opslagruimte waar de splijtstof in speciaal afgeschermde containers en onder inert gas worden opgeslagen. De restwarmte wordt afgevoerd via natuurlijke convectie. De containers zijn erop berekend om weerstand te bieden tegen ernstige ongevallen (vliegtuigcrash, brand en aardbeving).

1.1.1.2. Site van Tihange

In ondervermelde tabel worden de hoofdkenmerken vermeld van de eenheden die zich op de site van Tihange bevinden:

Tabel 2: Kenmerken van eenheden op de site van Tihange

Eenheden	Type	Thermisch vermogen (MWth)	Eerste kriticaliteit	Reactor-gebouw	Stoomgenerator vervanging	Opslag van bestraalde splijtstof	Ontwerper
Tihange 1	PWR (3 lussen)	2 873	1975	Dubbel omhulsel (beton met liner en beton)	1995	324 posities + 49 verplaatsbare posities	Framatome / Westing-house
Tihange 2	PWR (3 lussen)	3 054	1982	Dubbel omhulsel (beton met liner en beton)	2001	700 posities	Framatome
Tihange 3	PWR (3 lussen)	2 988	1985	Dubbel omhulsel (beton met liner en beton)	1998	820 posities	Westing-house

DE building	-	-	-	Bunkergebouw	-	3 720 posities + 30 tijdelijke posities	Tractebel Engineering

Elk van drie reactoren beschikt over een splijtstofdok ontworpen voor de tijdelijke opslag van splijtstofelementen. Na een verblijf van minstens twee jaar in de splijtstofdokken van de eenheden, worden de splijtstofelementen overgebracht naar het DE-gebouw waarin 8 opslagdokken werden ondergebracht, elk met een capaciteit van 465 gebruikte splijtstofelementen. De stroom voor dit gebouw wordt geleverd door eenheid 3 van Tihange.
De veiligheidsgebonden systemen en componenten voor het DE-gebouw zijn erop berekend om weerstand te bieden tegen de gevolgen van natuurlijke fenomenen, aardbevingen en ongevallen van externe oorsprong (vliegtuigcrash, explosie) zonder verlies van de veiligheidsfuncties.

De reactorgebouwen van alle drie de eenheden van Tihange hebben een structuur met een dubbel containment. Het binnenste containment is gemaakt van spanbeton met een interne liner terwijl het buitenste containment gemaakt is van gewapend beton.

1.2. Significante verschillen tussen de eenheden

1.2.1. Doel site

Vanuit het oogpunt van de beschouwde ontwerpgebeurtenissen, zijn er verschillen tussen de eenheden Doel 1/2 en de eenheden Doel 3 en 4:

- er zijn een aantal gemeenschappelijke systemen voor de reactoren van Doel 1/2;
- er is een strikte fysieke scheiding tussen de redundante veiligheidssystemen van Doel 3 en Doel 4;
- bij het initieel ontwerp van Doel 3&4 werden onder meer de volgende ongevallen of gebeurtenissen (intern of extern) in rekening gebracht:
  - het neerstorten van een vliegtuig;
  - een zware brand;
  - een ontploffing (met inbegrip van een gasontploffing);
  - kwaad opzet;
  - en ongevallen die de hoofdcontrolezaal ontoegankelijk maken of buiten gebruik stellen.

De vermelde ongevallen of gebeurtenissen werden in beschouwing genomen in het kader van de tienjaarlijkse periodieke veiligheidsherziening, en hebben bij Doel 1/2 geleid tot het oprichten van specifieke veiligheidssystemen, zijnde het Gebouw voor de Noodsystemen (GNS), dat seismisch gekwalificeerd is.

Alle eenheden van Doel beschikken over twee gescheiden niveaus van veiligheidssystemen, de veiligheidssystemen van het eerste niveau die bestemd zijn om het hoofd te bieden aan incidenten en ongevallen van interne oorsprong (bv. verlies van primaire waterinventaris of een breuk in de secundaire leidingen) en aardbevingen en de veiligheidssystemen van het tweede niveau (noodsystemen), bestemd voor externe risico's. De 1ste niveausystemen worden bestuurd vanuit de hoofdcontrolezaal, de 2de niveausystemen vanuit een aparte controlezaal. Belangrijk om te vermelden is dat het 2de niveau geheel onafhankelijk is van het 1ste niveau. Dit geldt in het bijzonder voor de elektrische dieselvoedingen, controlezaal, watervoorraden, instrumentatie, perslucht, injectie naar de dichtingen van de primaire pompen,voeding van de stoomgeneratoren, koeling van de shutdownkring,…

In onderstaande tabel worden de belangrijkste specificiteiten van Doel 1/2 en Doel 3 en Doel 4 opgesomd.

Tabel 3: Veiligheidssystemen van het eerste niveau op de reactoren van de site van Doel

Veiligheidssystemen van het eerste niveau	Doel 1/2	Doel 3 en Doel 4
Fysieke scheiding	De 1ste niveausystemen zijn niet allen fysiek gescheiden, wel zijn alle systemen onderzocht op onderlinge interacties (bijv. high energy line break) zodat interne ongevallen geen impact hebben op deze systemen. De ongevallen die meerdere veiligheidstuigen onbeschikbaar kunnen maken, worden vanuit het fysiek gescheiden GNS (gebouw 2de niveausystemen) opgevangen.	De 1ste niveausystemen zijn in de regel fysiek gescheiden.
Seismisch ontwerp	De 1ste niveausystemen zijn niet allen bestand tegen de Design Basis Earthquake (DBE). Wel zijn alle systemen noodzakelijk na DBE, seismisch ontworpen voor de DBE. De niet gegarandeerde functies worden vervuld vanuit het 2de niveau (GNS).	De 1ste niveausystemen zijn in de regel seismisch ontworpen voor de DBE.

Treinontwerp	De 1ste niveausystemen zijn in de regel treinmatig uitgevoerd voor elektrische voeding en instrumentatie. Mechanisch zijn de treinen in de regel onderling verbonden.	De 1ste niveausystemen zijn in de regel ontworpen per trein, er zijn dus in de regel geen verbindingen tussen de treinen.
Gemeenschappelijke systemen	Veel 1ste niveausystemen zijn gemeenschappelijk voor beide eenheden. De capaciteit / redundantiegraad van deze systemen is voldoende groot om dit toe te laten.	Voor de 1ste niveausystemen is bovenop de bestaande veiligheidsdiesels een extra reservediesel (phi-diesel), gemeenschappelijk voor Doel 3&4.
Veiligheidsinjectie (SI) Hoge druk	4 hogedrukinjectiepompen gemeenschappelijk voor de twee reactoren. 4 injectiepaden per eenheid: 2 injectiewegen op de koude benen, en 2 injectiewegen aan de bovenkant van de reactorkuip. 2 SI-reservoirs voor hoge en lage druk SI (1 SI-reservoir per eenheid) 2 accu's per eenheid (1 op elk koud been) 3 lagedrukinjectiepompen per eenheid. Dezelfde pompen staan in voor de stilstandkoeling van de eenheid.	3 onafhankelijke treinen met: 3 hogedrukinjectiepompen, 6 injectiewegen per eenheid: 2 per trein, 1 op elk warm been en 1 op elk koud been. 3 SI-reservoirs voor hoge en lage druk SI (1 SI-reservoir per trein) 3 accu's per eenheid (1 op elk koud been) 3 (afzonderlijke) lagedrukinjectiepompen per eenheid.
Containmentsproei (SP)	4 gemeenschappelijke sproeipompen (voor directe injectie) Sproeifunctie mogelijk via de lagedrukinjectiekring (tijdens recirculatie)	3 onafhankelijke treinen met 3 sproeipompen
Stilstandkoelkring (SC)	3 fysiek gescheiden en onafhankelijk gevoede pompen per eenheid, die ook de lagedrukinjectiefunctie vervullen 2 fysiek gescheiden stilstandkoelers per eenheid, met interconnectie mogelijk naar elk van de 3 pompen	3 onafhankelijke treinen met: 3 stilstandkoelpompen, 3 stilstandkoelers per eenheid die tevens zorgen voor afvoer warmte tijdens recirculatiefase.
Tussenkoelkring (CC)	Gemeenschappelijke CC-kring bestaat uit vier pompen en vier warmtewisselaars, verdeeld in twee groepen	3 onafhankelijke treinen met: 3 parallelle en identieke koelkringen, elk met een eigen pomp en warmtewisselaar
Elektrische voeding en instrumentatie	Er zijn 4 onafhankelijke elektrische polariteiten, 2 per eenheid. Voor veiligheidsfuncties met 3 tuigen wordt gebruik gemaakt van een polariteit van de andere eenheid. Bij het onbeschikbaar zijn van een diesel, neemt een diesel van de andere eenheid deze polariteit automatisch over, zodat er maximale onafhankelijkheid blijft bestaan tussen de polariteiten. Er is beperkte fysieke scheiding van bekabeling van elektrische voeding en instrumentatie.	Er zijn 3 onafhankelijke, fysiek gescheiden elektrische polariteiten, 1 per trein. Elke trein heeft eigen instrumentatie die onafhankelijk en fysiek gescheiden is van de andere treinen. Er is tevens manuele overname mogelijk door de reservediesel bij falen van een diesel 1ste niveau.
FE kring (Fire Water System)	2 pompen : één elektrisch gevoede en één met dieselaandrijving. Niet-seismisch ontwerp, met uitzondering van de bijvulling van het 2de niveauvoedingswater.	3 onafhankelijke treinen met: seismisch ontworpen en elektrisch aangedreven pompen gevoed door de 2de niveaudiesels

Hulpvoedingswater van de stoomgeneratoren (AF)	3 pompen : een turbopomp en twee motorpompen. De hoeveelheid AFW is voldoende om beide eenheden naar koude stilstand te brengen, waar de koeling verder verloopt via de nakoelkring.	3 onafhankelijke treinen met: een turbopomp en twee motorpompen
Veiligheidsgebonden ventilatie	Voor veel veiligheidssystemen is ventilatie gemeenschappelijk voor beide eenheden en de 4 treinen; in dit geval is de ventilatie bestand tegen enkelvoudige fout.	3 onafhankelijke treinen met treingebonden ventilatie voor de veiligheidssystemen

Voor de ongevallen die door de noodsystemen of 2de niveausystemen worden opgevangen, zijn volgende verschillen vermeldenswaardig:

- De 2de niveausystemen van Doel 1/2 zijn niet ondergebracht in gebunkerde gebouwen. Er is een fysieke scheiding tussen de 1ste en 2de niveausystemen van Doel 1/2.
- De noodsystemen van Doel 1/2 worden hoofdzakelijk manueel vanuit de noodcontrolezaal van het GNS in werking gesteld, terwijl Doel 3 en Doel 4 over een automatische (onbemande) fase van drie uur beschikken.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de noodsystemen van Doel 1/2 en Doel 3&4.

Tabel 4: Veiligheidssystemen van het tweede niveau op de reactoren van de site van Doel

Veiligheidssystemen van het tweede niveau (noodsystemen)	Doel 1/2	Doel 3 en Doel 4
Noodvoedingswater van de stoomgeneratoren: EF-kring (Emergency Feed Water)	Eén EF kring per eenheid die beide stoomgeneratoren van elke eenheid voedt. Het is mogelijk om beide eenheden te voeden vanuit één EF-kring van één eenheid.	Hebben één EF-kring voor elk van de drie stoomgeneratoren
EC- (Emergency component Cooling) en LU-kring (Noodkoelvijvers)	De EC-kring neemt gedeeltelijk de functies over van de RW- en CC-kringen. Twee luchtkoelers parallel met elkaar verbonden, worden in verbinding gebracht met de SC-koelers en de SC-motoren via twee circulatiepompen.	Er is een LU-kring per eenheid bestaande uit een grote koelvijver en drie onafhankelijke circulatiepompen. Er is ook nog een reservekoelvijver gemeenschappelijk voor Doel 3 en Doel 4. De warmte wordt afgevoerd door natuurlijke verdamping van het aanwezige water in deze koelvijvers
EI- en IAK-kring (Noodperslucht)	In geval de normale persluchttoevoer onbeschikbaar is, voorziet de EI-kring perslucht naar de belangrijkste afsluiters zodat de reactoreenheid naar koude stilstand kan worden gebracht.	Het IAK-circuit bestaat uit 3 onafhankelijke noodcompressoren met bijbehorend verdeelnet
EA-kring en RJ-kring (noodboorzuur injectiekring)	De RJ-kring regelt ook de waterinventaris van de primaire kring RC. De RJ-kring is sterk geboreerd en voegt boorzuur toe teneinde de toegevoegde reactiviteit te compenseren als gevolg van de afkoeling van de RC-kring.	De EA-kring regelt de waterinventaris van de primaire kring RC. De EA-kring is sterk geboreerd en voegt boorzuur toe teneinde de toegevoegde reactiviteit te compenseren als gevolg van de afkoeling van de RC-kring. Het systeem heeft 3 onafhankelijke pompen op Doel 3 en 2 onafhankelijke pompen op Doel 4.

RJ-kring (de noodinjectie van de dichtingen van de primaire pompen)	Er is een onafhankelijke RJ-kring per eenheid. Met manuele acties kan de RJ-kring van één eenheid instaan voor de injectie van de dichtingen van de pompen op beide eenheden. Er zijn verbindingen met manueel bediende afsluiters op elk van de twee RJ-kringen. De kring heeft 1 pomp en 1 boorzuurtank	Per eenheid zijn er 2 volumetrische pompen die elk aanzuigen uit een noodboorzuurtank met gemeenschappelijke filter. De leidingen zijn redundant tot aan het containment

1.2.2. Site van Tihange

Vanuit het oogpunt van de beschouwde initiërende gebeurtenissen bij de ontwerpbasis, zijn de verschillen tussen de Tihange 1 en de Tihange 2 en 3-eenheden de volgende:

- Er is een gedeeltelijke fysieke scheiding tussen de redundante veiligheidssystemen van Tihange 1;
- Er is een totale fysieke scheiding tussen de redundante veiligheidssystemen van Tihange 2 en 3;
- Bij het initieel ontwerp van Tihange 2 en 3 werden onder meer de volgende ongevallen of gebeurtenissen (intern of extern) in rekening gebracht:
    - het neerstorten van een militair of commercieel vliegtuig,
    - een zware brand,
    - een ontploffing (met inbegrip van een gasontploffing),
    - kwaad opzet, en
    - ongevallen die de hoofdcontrolezaal ontoegankelijk maken of buiten gebruik stellen.

Tihange 2 en Tihange 3 beschikken over twee niveaus van veiligheidssystemen, de veiligheidssystemen van het eerste niveau en deze van het tweede niveau (noodsystemen).

De verschillen m.b.t. de veiligheidssystemen van het eerste niveau voor elk van de reactoren worden vermeld in de volgende tabel.

Tabel 5: Systemen van het eerste niveau op de reactoren van de site van Tihange

Veiligheidssystemen van het eerste niveau	Tihange 1	Tihange 2 en Tihange 3
Veiligheidsinjectiesysteem (CIS)	• 3 hogedrukpompen (180 bar) die ook worden gebruikt in de chemische en volumecontrolesystemen • 3 injectieaccumulatoren van 25 m³ • 2 lagedrukveiligheidsinjectiepompen (8 bar) die autonoom vervangen kunnen worden door de 2 containmentsproei-systeempompen wanneer niet beschikbaar • Geen warmtewisselaar op veiligheidsinjectieleidingen • 1 waterreservoir	• 3 volledig onafhankelijke kringen • 3 hogedrukpompen (120 bar) • 3 injectieaccumulatoren van 35 m³ • 3 lagedrukveiligheidsinjectiepompen (20 bar) met back-up door 3 containmentsproeisysteempompen • 3 warmtewisselaars voor hercirculatie waterkoeling • 3 onderling verbonden (enkel voor Tihange 2) waterreservoirs
Containmentsproeisyteem (CAE)	• 6 pompen • 2 directe injectieleidingen vanuit een reservoir (met geen warmtewisselaar) • 2 interne recirculatieleidingen van de sterfputten in het reactorgebouw (met warmtewisselaars) • 2 leidingen – voor hetzij rechtstreekse injectie vanuit het reservoir of recirculatie vanuit de sterfputten (met wisselaars) – die autonoom de lagedrukveiligheids-injectiepompen kunnen vervangen	• 3 volledig onafhankelijke kringen • 3 injectiekringen – voor hetzij rechtstreekse injectie vanuit een reservoir of recirculatie vanuit de sterfputten (met warmtewisselaars) – die autonoom de lagedrukveiligheidsinjectiepompen kunnen vervangen

Stilstandkoelsysteem (RRA)	• 2 kringen met gemeenschappelijke leidingen (collectoren) • Pompen op warm been 2 en injectie in koude benen 3 en 1 • De lagedrukveiligheidsinjectiepompen kunnen autonoom de stilstandkoelsysteempompen vervangen	• 3 volledig onafhankelijke kringen
Veiligheidsdiesel-generatoren	• 2 veiligheidsdieselgeneratoren • Een reserve back-updieselgenerator kan verbonden worden met de eenheden 1, 2 of 3 in geval een dieselgenerator onbeschikbaar zou zijn	• 3 veiligheidsdieselgeneratoren • Een reserve back-updieselgenerator kan verbonden worden met de eenheden 1, 2 of 3 in geval een dieselgenerator onbeschikbaar zou zijn
Bluswaterkring (FE)	• Een pomp die aangedreven kan worden via een veiligheidsdieselgenerator en een thermische motorpomp (diesel)	• Elektrische pompen aangedreven door veiligheidsdieselgeneratoren
Hulpvoedingswatersysteem (EAA and EAS)	• 1 turbopomp (100 %) met watertoevoer van het noodsysteem en 2 motorpompen (2 x 50 %) aangedreven door de veiligheidsdieselgeneratoren	• 1 turbopomp (100 %) met watertoevoer van het noodgebouw en 2 motorpompen (2 x 50 %) aangedreven door de veiligheidsdieselgeneratoren

De noodsystemen van het tweede niveau werden niet in beschouwing genomen bij het oorspronkelijk ontwerp van Tihange 1. Er werd evenwel als resultaat van de eerste periodieke veiligheidsherziening (in 1986) een noodsysteem (SUR) geïnstalleerd om een antwoord te bieden op verschillende ongevalscenario's met externe oorsprong. Dit systeem omvat:

- Twee verschillende noodvoedingssystemen (een 380 V dieselgenerator en een 380 V turboalternator);
- Een waterkoelkring met twee pompen die grondwater uit twee verschillende bronnen halen;
- Een injectiepomp in de dichtingen van de primaire pompen.

Tihange 2 en Tihange 3 beschikken over een automatische (onbemande) controlefase van drie uur na een ongeval van externe oorsprong.

De kenmerken van het noodsysteem van het tweede niveau voor Tihange 2 en Tihange 3 worden beschreven in ondervermelde tabel.

Tabel 6: Noodsystemen van het tweede niveau op Tihange 2 en Tihange 3

Noodsystemen van het tweede niveau	Tihange 2 en Tihange 3
Noodinjectiesysteem (CIU)	• 3 volledig onafhankelijke kringen en 2 boorzuurinjectiepompen (7 000 ppm)
Noodinjectie in de dichtingen van de primaire pompen (CRU en IJU)	• Voor Tihange 2 en Tihange 3 koelt het systeem de thermische barrières van de primaire pompen (1 pomp voor elke primaire lus) • Voor Tihange 3 zorgt het systeem voor de injectie in de dichtingen van de pompen (2 pompen 100 %)
Noodkoeling van de kern (CUS)	• 3 redundante kringen voor de koeling van de thermische barrières van de primaire pompen en voor de koeling van de wisselaars en pompen van het noodsysteem en het DE-gebouw
Noodvoedingswatersysteem (AUG)	• 3 kringen die zorgen voor de watervoorziening van de stoomgeneratoren. Water is afkomstig van een 100 m³ tank in elke kring die opnieuw met gedemineraliseerd water (vanuit het normale watersysteem), grondwater of Maaswater kan worden gevuld.
Maas- en gronndwatervoorzieningssystemen	• Water kan voorzien worden vanuit drie bronnen of rechtstreeks vanuit de Maas worden opgepompt
Nooddieselgeneratoren	• 3 noodgeneratoren met een brandstoftank met 7 dagen autonomie

1.3. Gebruik van probabilistische veiligheidsstudies als deel van de veiligheidsevaluatie

De probabilistische veiligheidsstudies (PSA) werden opgestart op het initiatief van de exploitant alvorens te worden geïntegreerd in de tienjaarlijkse herziening. De PSA-studies bevatten:

- PSA van niveau 1, bepaalt de kans op kernsmelt (CDF of Core Damage Frequency);
- PSA van niveau 2, berekent de kans op lozing naar de omgeving (Release Frequency).

De studies dekken de volgende toestanden van de centrale:

- vermogenwerking;
- stilstand (SC verbonden met RC).
- werking met verlaagde waterinventaris (half-been werking).

De PSA-studies behandelen de gebeurtenissen van interne oorsprong. De beschouwde groepen van initiërende gebeurtenissen zijn:

- het verlies van primair water (LOCA);
- secundaire leidingbreuken (binnen en buiten containment);
- het verlies van de elektrische borden (veiligheid en niet-veiligheid, AC en DC);
- het verlies van het externe net (LOOP) (korte tijd en lange tijd);
- het verlies van instrumentatielucht;
- stoomgeneratorpijpbreuk, al dan niet gecombineerd met secundaire leidingbreuken;
- de primaire transiënten met onder meer verlies van veiligheidskoelkringen;
- de secundaire transiënten met onder meer verlies normaal en hulpvoedingswater;
- het niet-tijdig opkomen van bepaalde signalen;
- het verlies van het koelingssysteem, is beschouwd als een initiërende gebeurtenis.

Het station black-out (SBO) scenario wordt in aanmerking genomen via de LOOP-initiërende gebeurtenis gecombineerd met een mogelijk falen van de dieselgeneratoren van het eerste en tweede niveau.

Probabilistische veiligheidsstudies werden aangevat om het risico op brand en overstroming op alle Belgische eenheden te evalueren. Totnogtoe werden er in de PSA van de Belgische eenheden geen ongevallen van externe oorsprong of een initiërende gebeurtenis m.b.t. de splijtstofdokken in beschouwing genomen. De faalmodi van het containmentgebouw waren binnen het bestek van de PSA die in de jaren 90 werden uitgevoerd op de eenheden Doel 1/2 en Tihange 1. Op dit ogenblik wordt er een volledige PSA – met inbegrip van vrijkomen van splijtstofproducten in de verschillende faalmodi van het containmentgebouw – uitgevoerd voor elke representatieve eenheid in België.

1.4. Lijst afkortingen

Acronyme	Terme complet
AC	Alternating current
ADG	Administratief gebouw
AF	Auxiliary Feed
AFW	Auxiliary Feedwater
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ATWS	Anticipated Transient Without Scram
AUG	Alimentation Ultime secours des GV (Tihange)
B	Bâtiment bureau
B01Bi	Réservoir de remplissage piscine de Tihange 1
BAE	Bâtiment Auxiliaires Électriques
BAN	Bâtiments Auxiliaires Nucléaires
BAN-D	Bâtiments Auxiliaires Nucléaires - D (D pour piscine de Désactivation)
BAN-N	Bâtiments Auxiliaires Nucléaires - N (N pour Normaux)
BAN-profond	Bâtiments Auxiliaires Nucléaires (Tihange 2 en 3)
BAR	Gebouw reactorhulpdiensten
BDBE	Beyond Design Earthquake
BDBF	Beyond Design Basis Flooding
BK/BKR	Bunker
BKZ	Bunker Controle Zaal
BMMT	Base Mat Melt Through
BP	Basse Pression
BR	Bâtiment Réacteur
BUR	Bâtiment d'Ultime Repli (Tihange 1)
BUS	Bâtiment d'Ultime Secours (Tihange 2-3)
CAB	Circuit d'Appoint en Bore
CAE	Circuit d'Aspersion d'Enceinte
CAR	Circuit d'Air comprimé de Régulation
CARA	Centre d'Accueil et de Repli des Awirs
CAU	Circuit d'Air Ultime
CCV	Circuit de Charge et de contrôle Volumétrique
CD	Cooling Diesels
CDF	Core Damage Frequency
CEB	Circuit d'Eau Brute
CEC	Circuit d'Eau de Circulation
CEG	Circuit d'Eau Glacée
CEI	Circuit d'Eau d'Incendie
CEU	Circuit d'Eau Ultime (Tihange 2 en 3)
CEX	Circuit d'exhaure dans les bâtiments nucléaires
CF	Gekoeld Water
CFR	Code of Federal Regulations
CGCCR	Centre Gouvernemental de Coordination et de Crise
CIS	Circuit d'Injection de Sécurité
CIU	Circuit d'Injection Ultime
CMCPB	Crisis managent Center Productie Belgie-Luxemburg
CMCPB	Centre de Management de Crise Production Belgique
CMU	Circuit de Moyens Ultimes
CSNI	Committee on the Safety of Nuclear Installations
CNT	Centrale Nucléaire de Tihange
COS	Centre Opérationnel de Site (Tihange)
COT	Centre Opérationnel de Tranche (Tihange)
CPR	Circuit de Protection du Réacteur
CRDM	Control Rod Drive Mechanism
CRDS	Control Rod Drive Shaft

CRI	Circuit de Réfrigération Intermédiaire
CRP	Circuit de Réfrigération Primaire
CRU	Circuit de Refroidissement Ultime
CTP	Circuit de Traitement des Piscines de désactivation
CUS	Circuit d'Ultime Secours
CV	Chemische en volumetrische controle
CVA	Circuit Vapeur Auxiliaire
CVC	Circuit de Vapeur de Contournement
CVD	Contournement Vapeur Désurchauffe condenseur (Tihange 1)
CVP	Circuit de Vapeur Principal
CW	Cooling Water pipes
D	Bâtiment Désactivation
DBE	Design Basis Earthquake
DBF	Design Basis Flooding
DC	Courant continu
DD	Ontgast gedemineraliseerd water (secundair)
DE	Bâtiment entreposage des assemblages de combustible usé
DG	Dieselgroepen
DUR	Diesel d'Ultime Repli (Tihange 1)
DW	Ontgast gedemineraliseerd water (primair)
EA	Nood-boorzuur injectiekring
EA	Espace annulaire
EAA	Eau Alimentaire Auxiliaire (Tihange 2 en3)
EAN	Eau Alimentaire Normale
EAS	Eau Alimentaire de Secours (Tihange 1)
EC	Emergency component cooling
ECA	Emergency Contingency Actions
ECOS	Emergency Call Out System
ED	Emergency Dieselgroepen
EDD	Eau Déminéralisée Dégazée
EDMG	Extensive Damage Mitigation Guidelines
EDN	Eau Déminéralisée Normale
EF	Emergency Feedwater
EF2	Snelheid op Fujita tornado schaal tussen 50 m/s en 60 m/s
EF3	Snelheid op Fujita tornado schaal tussen 61 m/s en 75 m/s
EF4	Snelheid op Fujita tornado schaal tussen 75 m/s en 89 m/s
EI	Air comprimé de secours
ENSREG	European Nuclear Safety Regulators' Group
EOP	Emergency Operations Procedures
EPA	Circuit d'Échantillonnage du liquide Post-Accidentel
EPRI	Electric Power Research Institute
EQE	European Qualifying Examination
ERF	Emergency Response Facility
ERG	Emergency Response Guidelines
EV	Emergency Ventilation
EW	Extractie water
FA	Filtre Absolu
FE	Fire water system
FR	Filter
FRG	Function Restoration Guidelines
FR-C	Function Restoration core Cooling
FROG	FRamatome Owner Group
GBR	Échantillonnage des Gaz dans le Bâtiment Réacteur
GCH	Échantillonnage rejet atmosphérique (Gaz CHeminée)
GDR	Groupe Diesel de Réserve
GDS	Groupe Diesel de Secours

GDU	Groupe Diesel Ultime (Tihange 2 en3)
GMH	Gebouw Mechanische Hulpdiensten
GNH	Gebouw Nucleaire Hulpdiensten
GNS	Gebouw voor de Nood Systemen (Doel 1 en 2)
GRC	Groupe Diesel de réserve circuit de combustible du GDR/M03
GSC	Groupes Diesel de secours circuit de combustible
GUS	Groupe turbo-alternateur d'Ultime Secours (Tihange 1)
GV	Générateur de Vapeur
GVD	Gebouw volledige Demineralisatie
HCLPF	High Confidence, Low Probability of Failure
HKZ	Hoofdcontrolezaal
HP	Haute Pression
IAEA	International Atomic Energy Agency
IA-IAK	Air comprimé de secours
IDF	Intensité-Durée-Fréquence
IJU	Injection aux Joints Ultime (Tihange 3)
IPS	Important Pour la Sûreté
IRE	Institut National des Radioéléments
IRM	Institut Royal Météorologique
IS	Injection de Sécurité
ISBP	Injection de Sécurité Basse Pression
ISHP	Injection de Sécurité Haute Pression
ISLOCA	Interfacing System Loss Of Coolant Accident
ISO 14001	International Organization for Standardization - Standard # 14001
JCO	Justification for Continued Operation
K	Bâtiment des pompes EAA
KD	Bunker/gelijkstroomnet
KVR	Koelvijver
KSB	Koninklijke Sterrenwacht van België
KZ	Controlezaal
LDSI	Lage Druk Safety Injection
LOCA	Loss Of Coolant Accident
LOOP	Loss Of Offsite Power
LPA	Liquide Post-Accidentel
LTO	Long Term Operation
LU	Koelvijver
LUHS	Loss of Ultimate Heat Sink
MORV	Motorised Operated Relief Valve
MPA	Moto Pompe Alimentaire (Tihange 2 en3)
MSK	Medvedev-Sponheuer-Kamik schaal
MTU	Alimentation électrique Ultimes Secours
MW	Niet-ontgast gedemineraliseerd water
MW	Megawatt
MWP	Gebouw pompkelder
N	Bâtiment des auxiliaires nucléaires
NA	Not applicable
NEI	Nuclear Energy Institute
NKZ	Noodcontrolezaal
NP	Noodplan
NPK	Noodplankamer
NPP	Nuclear Power Plant
NPSH	Net Positive Suction Head
NRC	Nuclear Regulatory Commission
NUREG	Nuclear Regulatory Group
O	Bâtiment stockage fuel GDU
OBE	Operating Basis Earthquake

OTSC	On-Site technical Support Center
OVG	Ondergrondse Verbindings-Galerij
P	Station de pompage
PAMS	Post-Accident Monitoring System
PAR	Passive Autocatalytic Recombiner
PB	Boorzuurbereidingskring
PCA	Piège à Charbon Actif
PED	Circuit de Production d'Eau Déminéralisée
PGA	Peak Ground Acceleration
PIS	Pompe d'Injection de Secours (Tihange 1)
PIU	Plan Interne d'Urgence
PL	Pool Loop
PORV	Pressurized Operated Relief Valve
PORV	Power Operated Relief Valve
PP	Pompe
PR	Drukregelvat
PR	Panneau de Repli
PS	Primaire Staalname
PSA	Probabilistic Safety Assessment
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis
PU	Zuivering primaire kring
PUR	Panneau d'Ultime Repli (Tihange 1)
PWR	Pressurized Water Reactor
PWROG	PWR Owners Group
RC	Reactorkoelkring
RF	Résistant au Feu
RG	Regulatory Guide
RGB	Reactorgebouw
RJ	Noodkoelsysteem dichtingen primaire (RC) pompen
RLE	Review Level Earthquake
RM	Radioactivity Monitoring
RN	Koeling CCW-kring (WAB)
ROB	Royal Observatory of Belgium
RPP	Circuit de Régulation de Pression Primaire
RR	Réservoir
RRA	Refroidissement Réacteur à l'Arrêt
RS	Rapport de sûreté
RTGV	RuptureTube Générateur de Vapeur
RW	Ruw Waterkring
RWST	Refueling water storage tank
SAM	Severe Accident Management
SAMG	Severe Accident Management Guidelines
SBO	Station Black-Out
SC	Stilstandskoeling
SCG	Splijtstof Container Gebouw
SCK-CEN	Studiecentrum voor Kernenergie (Mol)
SEBIM	Type gepiloteerde veiligheidsklep
SETHY	Service d'Études HYdrologiques de la Région Wallonne
SEU	Circuit d'Eau Ultime des piscines du DE
SEX	Circuit d'exhaure du bâtiment DE
SFP	Single failure Proof
SG	Steam Generators
SGH	Simpson, Gumpertz & Heger
SI	Safety injection
SMA	Seismic Margin Assessment
SMR	Seismic Margin Review

SOER	Significant Operating Experience Report
SP	Sproeikring reactorgebouw
SPG	Splijtstofgebouw
SQUG	Seismic Qualification Utility Group
SRI	Circuit de réfrigération intermédiaire du bâtiment DE
SSC	Structuren, systemen en componenten
SSE	Safe Shutdown Earthquake
STP	Circuit Traitement d'eau des piscines du DE
SUR	Système d'Ultime Repli (Tihange 1)
TAc	Tableau d'alimentation du contrôle-commande (115 V DC)
TAm	Tableau d'alimentation moyenne tension (380 V AC)
TAr	Tableau d'alimentation à tension régulée (220 V AC)
TAW	Tweede Algemene Waterpassing
TEF	Traitement des Effluents
TEG	Traitement des Effluents Gazeux
TPA	Turbo Pompe Alimentaire (Tihange 2 en3)
TPA EAA	Turbo Pompe Alimentaire Eau Alimentaire Auxiliaire
TPS	Turbo Pompe de Secours (Tihange 1)
TUR	Tussenruimte reactorgebouw
TW	Stadswater
UCL	Université Catholique de Louvain
ULg	Université de Liège
USNRC	United States Nuclear Regulatory Commission
VAN	Ventilatie gebouw nucleaire hulpdiensten (GNH) - niet-veiligheidsdeel
VAS	Ventilatie gebouw nucleaire hulpdiensten (GNH) - veiligheidsdeel
VBA	Stoomontlastingsklep
VBP	Ventilation BAN Piscine de désactivation
VBR	Ventilation Bâtiment Réacteur (Tihange 2-3)
VBU	Ventilation Bâtiment Ultime
VC	Ventilatie Reactorgebouw
VDA	Atmosferische ontlastingsafsluiters
VDE	Ventilation bâtiment DE
VE	Ventilatie Electrische hulpdiensten
VEA	Ventilation Espace Annulaire
VEE	Ventilation Enceinte Étanche (Tihange 1)
VEN	Ventilatie Electrische hulpdiensten (GEH) - niet-veiligheidsdeel
VES	Ventilatie Electrische hulpdiensten (GEH) - veiligheidsdeel
VF	Ventilatie splijtstofgebouw
VH	Ventilatie gebouw mechanische hulpdiensten
VI	Ventilatie tussenruimte en waterdokken reactorgebouw
VK	Ventilatie Bunker
VLE	Ventilation des Locaux Électriques
VP	Ventilatie Controlezaal
VRP	Véhicule de radioprotection
W	Bâtiment BUS
WAB	Water- en AfvalBehandelingsinstallatie
WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association
WOG	Westinghouse Owners Group - (hernoemd PWR Owners Group or PWROG)
WVP	Watervang Pompstation Doel 3&4
Z	Espace annulaire

2. Aardbeving

Om een op zichzelf staand nationaal rapport te hebben voor de voorziene peer review wordt eerst de door de exploitant in zijn weerstandstestsverslag verstrekte relevante informatie in herinnering gebracht.
Aan het einde van dit hoofdstuk worden in een laatste paragraaf de conclusies en de evaluatie van de Belgische veiligheidsautoriteit vermeld (FANC en Bel V).

2.1. Ontwerpbasis

2.1.1. Aardbeving waartegen de centrales ontworpen zijn

2.1.1.1. Kenmerken van de ontwerpaardbeving (DBE)

Seismische activiteit is lager in Noordwest-Europa in vergelijking met de rest van de wereld. Niettemin zijn de installaties in Tihange en Doel gebouwd en ontworpen om een aardbeving te doorstaan met een grotere intensiteit dan het seismische potentieel van deze zone.

Site Tihange
Het onderzoek van de geologische en seismotektonische omgeving van de site van Tihange werd uitgevoerd over een zone die een cirkel bestrijkt met een straal van 320 km rond de site. Vanuit een geologisch oogpunt is de site van Tihange gelegen aan de noordrand van het massief van de Ardennen. De kerncentrale van Tihange is gelegen in het verdronken land op de rechteroever van de Maasrivier. Gedetailleerde studies hebben ook aangetoond dat de samenstelling van de bodem niet kan overeenkomen met een breuklijn die dwars over de site loopt.

Tihange 1 werd gebouwd om bestand te zijn tegen een DBE gekenmerkt door een piekgrondversnelling van 0,1 g. In overeenstemming met de regelgevende praktijk in de kernindustrie (10 CFR 100, IAEA 50-SG-S1) werd op dat moment deze waarde bepaald door toepassing van een deterministische benadering. Dit seismisch niveau komt ook overeen met het standaardminimum aanbevolen door de regelgeving van toepassing op het moment dat Tihange 2 en 3 werden gebouwd.

Na een herevaluatie van het seismisch niveau van de site in de eerste periodieke veiligheidsherziening van Tihange 1 (1985) werd de piekgrondversnelling van de DBE verhoogd tot 0,17 g voor de drie eenheden in Tihange. Deze herevaluatie vond plaats na de bouw van Tihange 1 en tijdens de bouw van eenheden 2 en 3. De evaluatie en aanpassingen op dat moment lieten toe de DBE voor de drie eenheden in Tihange te verhogen tot 0,17 g PGA.

Site Doel
De site van Doel is gelegen op de linkeroever van de Schelde. Vanuit een geologisch oogpunt, maakt Doel deel uit van het Londen-Brabantmassief. Het Brabantmassief is in het noorden, oosten en zuiden begrensd door een kolenscherm. Dit scherm scheidt het massief in het noorden af van de graben van de Beneden-Rijn, in het zuidoosten van het Ardeens Massief, in het zuiden en zuidwesten van het Bekken van Parijs.

Tijdens het ontwerp van Doel 1/2 werd de site van Doel algemeen beschouwd als "aardbevingsvrij". Ten gevolge hiervan hield het originele ontwerp van de twee eenheden geen rekening met het risico van een aardbeving. Bij de eerste periodieke veiligheidsherziening (1985) werd niettemin beslist om het risico op een aardbeving alsnog in te bouwen. De PGA van de DBE voor Doel 1/2 werd vervolgens ingesteld op 0,058 g.

In overeenstemming met de regelgevende praktijk, werd tijdens het ontwerp van Doel 3&4 een PGA van 0,1 g gebruikt voor de DBE.

2.1.1.2. Methodologie gebruikt om de ontwerpaardbeving te evalueren

Twee verschillende deterministische benaderingen werden gebruikt om de DBE van de kerncentrales van Doel en Tihange te definiëren.

Volgens de seismotektonische deterministische methode:

- Definitie van seismische bronparameters: opsplitsing van België in verschillende seismische zones en oplijsten van alle aardbevingen die hebben plaatsgevonden;
- Bepalen van de krachtigste aardbeving per zone en conservatief veronderstellen dat die aardbeving zich zou voordoen op de site zelf of in de onmiddellijke omgeving van de seismische zone van de site;
- Tenslotte wordt de intensiteit van de DBE op de site bepaald rekening houdend met de afzwakkingswetten, met intensiteit in functie van magnitude en afstand.

Er bestaat een alternatieve historische deterministische methode die inhoudt:

- Bepalen van de maximale intensiteit waargenomen in de buurt van de site als gevolg van een aardbeving;
- Een veiligheidsmarge toevoegen die overeenkomt met één graad intensiteit;

Voor beide deterministische benaderingen wordt de piekgrondversnelling afgeleid via correlatiecurves voor intensiteit en piekgrondversnelling.

Kerncentrale Tihange

Beide deterministische benaderingen leverden hetzelfde resultaat op, namelijk een aardbeving met een intensiteit van VII op de MSK-schaal. De piekgrondversnelling overeenstemmend met deze intensiteit, afgeleid van de Medvedev-correlatiecurves, werd gedefinieerd als 0,1 g.

Tijdens de eerste periodieke veiligheidsherziening van Tihange 1 (1985) raadden nieuwe regelgevende richtlijnen een andere afzwakkingsschema aan. Deze aanbeveling zette de exploitant ertoe aan een maximale aardbeving op de site van Tihange van VII ½ op de MSK-schaal te overwegen. Het gebruik van intensiteit-versnellingscorrelatiecurves voorgeschreven in het document NRC - NUREG-0143 leidden tot een upgrade van de piekgrondversnelling van de DBE van 0,1 g naar 0,17 g.

Het horizontale trillingsspectrum, op grondniveau van de site van Tihange werd bepaald voor de DBE door compilatie van seismische opnames gemaakt op vergelijkbare sites.

Kerncentrale Doel

De aardbeving met de grootste invloed op Doel tot nog toe is de Zulzeke-Nukerke-aardbeving (1938): het epicentrum lag ongeveer 75 km van de site. Deze aardbeving is historisch gezien de meest relevante: ze bereikte de hoogste intensiteit en fungeerde als referentiepunt bij de ontwerpfase. De beving had een magnitude van 5,6 op de schaal van Richter en werd in Doel waargenomen met een intensiteit V op de MSK-schaal.

Uitgaande van deze aardbeving werden beide deterministische methodes op de site in Doel toegepast. Beide gaven ongeveer hetzelfde resultaat. De hoogste waarde voor de PGA werd uiteindelijk voor de site weerhouden. De overeenstemmende horizontale versnelling op grondniveau voor frequenties ≥ 33 Hz bedraagt 0,058 g.

Het volledige trillingsspectrum werd vervolgens bepaald, rekening houdend met de specifieke eigenschappen van de ondergrond in Doel. Het aldus bekomen site-specifieke spectrum werd aangenomen voor het nazicht van de weerstand van de gebouwen tegen aardbevingen. Zoals hoger reeds vermeld werden voor Doel 3&4 een hogere piekgrondversnelling van 0,1 g in rekening gebracht.

2.1.1.3. Conclusie over de adequaatheid van de ontwerpbasis voor de aardbeving

Binnen het kader van de bijkomende veiligheidsevaluaties uitgevoerd als gevolg van het incident in Fukushima en om de geldigheid van de seismische gegevens te waarborgen, vroeg de exploitant aan de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB) een nieuwe studie uit te voeren van het seismische risico op basis van een probabilistische seismische gevaaranalyse (PSHA) rekening houdend met de recentste informatie en gegevens.

De afgelopen jaren zijn er twee markante evoluties geweest met betrekking tot het definiëren van het seismisch risico:

- wat de kennis van het seismische risico in België betreft, werd de aardbeving in Verviers (1692) in kaart gebracht en meer precies bestudeerd;
- wat de gebruikte methode voor vaststelling van het seismische risico betreft, wordt steeds meer gebruik gemaakt van de probabilistische methode. Hierdoor wordt rekening gehouden met alle historisch gekende aardbevingen van betekenis voor de site. Op deze manier wordt gebruik gemaakt van de recentste kennis van de seismische zones in en rond België.

De probabilistische studie door de KSB geeft enerzijds de versnelling in functie van een overschrijdingskans en anderzijds de uniforme aardbevingsspectra.

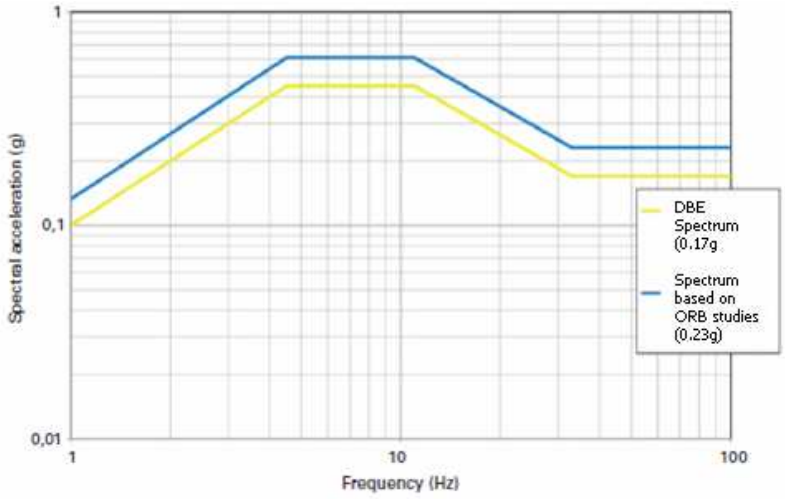
Kerncentrale Tihange

De probabilistische studie door de KSB legde een seismisch niveau vast, uitgedrukt in piekversnelling en spectrum op rotsbodemniveau (dicht bij het oppervlak in Tihange). Deze piekversnellingen op die diepte bedragen:

- 0,064 g voor een aardbeving met een terugkeerperiode van 1000 jaar (84^{e} percentiel)
- 0,21 g voor een aardbeving met een terugkeerperiode van 10.000 jaar (gemiddelde waarde).

Voor een periode van 100.000 jaar bedraagt de mediane waarde minder dan 0,21 g. Voor de doeleinden van de studie werd de meest penaliserende waarde gebruikt, d.w.z. 0,21 g op de rotsbodem.

De huidige seismische ontwerpniveaus van de drie eenheden in Tihange werden vergeleken met deze afgeleid van deze nieuwe KSB-studie van seismisch risico in België. De KSB-gegevens worden omgezet in PGA en trillingsspectrum op grondniveau van de site van Tihange, rekening houdend met de specifieke kenmerken van de bodem.
De PGA berekend door de KSB op de rotsbodem werd verhoogd tot 0,23 g op het oppervlak (10 % marge) om rekening te houden met grondversterking. Het nieuwe sitespectrum levert een piekgrondversnelling van 0,23 g op en de spectrale vorm van de aardbeving naar de site wordt bewaard door een versterkingsfactor van 2,64 toe te passen (beschouwd als conservatief, uitgedrukt op 84 % vertrouwen).



Figuur 5: Vergelijking van het ontwerpspectrum van de drie eenheden in Tihange met het nieuwe sitespectrum afgeleid van de KSB-studie

Hierbij dient genoteerd dat het verschil tussen het nieuwe spectrum, afgeleid van de KSB-studie, en de DBE heel beperkt is vergeleken met de marges genomen in de oorspronkelijke berekeningen. In feite zijn de ontwerpvermoedens deze vereist door de toepasselijke constructiecodes; deze vereisten worden erkend als conservatief in het bijzonder in het kernenergiedomein, waar de eisen in grote mate deze van de Eurocodes overschrijden.

Het spectrum afgeleid van de voorlopige KSB-studie overtreft de DBE voor de eenheden in Tihange lichtjes maar dit heeft geen gevolgen om de volgende redenen:

- gekwalificeerd zijn voor een DBE gebaseerd op methodes die als conservatief worden beschouwd en rekening houdend met de ontwerppraktijken die inherent zijn aan het ontwerp van kernenergiestructuren, behouden de grootste meerderheid van de structuren, systemen en componenten hun kwalificatie voor de aardbeving afgeleid in de KSB-studie;
- de evaluatie van de marge gebaseerd op de SMA-methodologie, uitgevoerd als onderdeel van deze oefening en verder in dit rapport beschreven, bevestigt dit resultaat.

Niettemin zal een meer gedetailleerde en volledige seismische risicoanalyse voor de site van Tihange worden uitgevoerd en deze zal conclusies toelaten in verband met de gepastheid van de DBE.

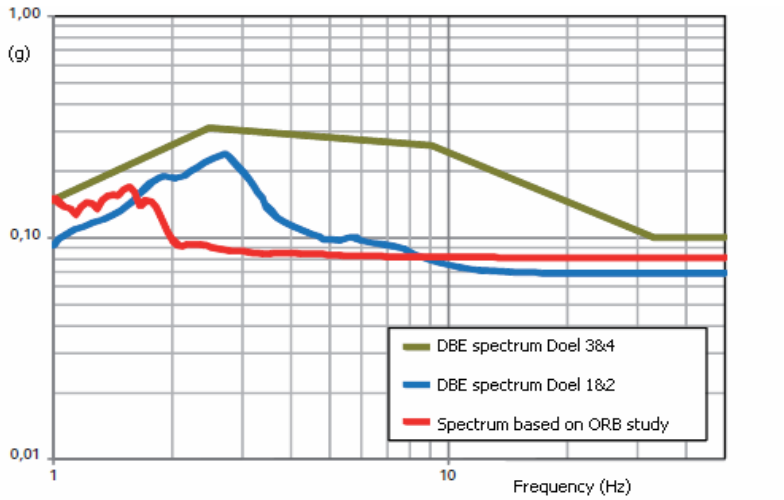
Kerncentrale Doel

Uit de probabilistische studie uitgevoerd door de KSB is gebleken hoe groot het seismisch niveau is uitgedrukt in termen van maximale versnelling en spectrum op ongeveer 600 m diepte (rotsgesteente). Op deze diepte bedragen de maximale versnellingen:

- 0,053 g voor een aardbeving met een terugkeerperiode van 1000 jaar (gemiddelde waarde) ,
- 0,146 g voor een aardbeving met een terugkeerperiode van 10.000 jaar (gemiddelde waarde).

De maximale versnellingen van de aardbeving waarvan met 84 % zekerheid kan worden gezegd dat deze slechts eenmaal om de 10.000 jaar voorkomen, evenals de mediane waarde voor 100.000 jaar, zijn beide lager dan 0,146 g.

De meest penaliserende waarde van de maximale versnelling op de rotslaag, zijnde de gemiddelde waarde voor 10.000 jaar, werd naar boven afgerond naar 0,15 g en werd vervolgens vertaald naar de situatie aan de oppervlakte in Doel, rekening houdend met de specifieke kenmerken van de bodem. Hierbij werd gebruik gemaakt van het spectrum dat de US NRC Regulatory Guide 1.60 voorschrijft. Dit laat ons vervolgens toe een vergelijking te maken met de corresponderende waarden in de ontwerpbasis. Onderstaande afbeelding laat de resultaten zien:



Figuur 6: Spectrum op grondniveau gebaseerd op de KSB-studie, in vergelijking met het ontwerpspectrum van Doel 1/2, Doel 3 en Doel 4.

- De frequenties die te beschouwen zijn om de weerstand van de gebouwen te evalueren, liggen tussen 1,5 en 5 Hz. In dit bereik geeft de nieuwe evaluatie een beduidend lagere

waarde voor de versnelling op grondniveau dan deze waarmee rekening gehouden werd in het ontwerp van Doel 1/2 en van Doel 3&4.
- Voor de uitrustingen die zich in de gebouwen bevinden, zijn doorgaans de hogere frequenties van belang. In dit bereik produceert de nieuwe evaluatie een waarde van 0.081 g voor piekgrondversnelling op grondniveau. Deze waarde is lichtjes hoger dan deze in aanmerking genomen in het ontwerp van Doel 1/2 en lager dan de ontwerpwaardes van Doel 3&4. Dit kleine verschil is van klein belang voor de echte seismische weerstand van de uitrusting in geval van dergelijke aardschok. Alle seismisch gekwalificeerde uitrustingen worden immers ontworpen en gebouwd met inachtneming van ruime veiligheidsfactoren. Dit werd bevestigd door de SMA-studie, waarbij de integriteit van de relevante uitrustingen werd geëvalueerd bij een versnelling van 0,3 g.

2.1.2. Voorzieningen om de centrales te beschermen tegen de ontwerpaardbeving

2.1.2.1. Structuren, systemen en componenten die nodig zijn voor veilige stilstand (Safe Shutdown) en beschikbaar blijven na de aardbeving

Kerncentrale Tihange

Gebouwen en structuren

De gebouwen en structuren beschermen de volgende systemen tegen incidenten van externe oorsprong:
- primaire kring;
- gebruikte splijtstof opgeslagen op de site;
- tanks die gasvormige effluenten bevatten;
- systemen die instaan voor de veilige stilstand (safe shutdown) van de reactor in geval van onbeschikbaarheid van de normale shutdownsystemen.

Deze structuren zijn seismische categorie 1-gebouwen volgens RG-1.29 (revisie 2, februari 1976). Deze zijn bijgevolg ontworpen om te weerstaan aan de DBE.

Systemen

Om de veilige uitschakeling van de eenheid en haar instandhouding van een stabiele en gecontroleerde toestand te waarborgen, moeten de volgende systemen die de vitale functies verschaffen in staat zijn te weerstaan aan een DBE:
- kernkoeling: primaire kring (en door de EAS/EAA die de stoomgenerator voedt, en de AUG voor het tweede niveau van Tihange 2&3);
- controle van reactiviteit: CCV, CIU (tweede niveau Tihange 2) en IJU (tweede niveau Tihange 3);
- primaire drukbeheersing: CCV - CIS - RPP;
- kerninventariscontrole: CCV, CIU (tweede niveau Tihange 2) en IJU (tweede niveau Tihange 3);
- afvoer van restwarmte: RRA - CRI - CEB ondersteund door de grondwaterkring (Tihange 1) of systemen van het tweede niveau RRA-CRU-CEU (Tihange 2 &3).

Bovendien is de weerstand tegen de DBE ook vereist voor de veiligheidssystemen die de volgende functies verrichten:
- veiligheidsinjectiesysteem: CIS;
- containmentsproeisysteem: CAE;
- onder negatieve druk plaatsen en filteren van de tussenruimte: VEA;
- isolatie van het reactorgebouw;
- bewoonbaarheid van de controlezaal: CSC;
- bewoonbaarheid van de BUS-controlekamer gelegen in het gebunkerde gebouw in geval van onbeschikbaarheid van de normale controlekamer van Tihange 2 of 3.

Om de veiligheid van de splijtstof opgeslagen in de dokken van de reactoreenheden te waarborgen, wordt de koelfunctie van de dokken eveneens gewaarborgd in geval van aardbeving.

In ongevalomstandigheden is het ook nodig de radioactiviteit te meten en te controleren. De volgende systemen maken deze controle mogelijk: CEN-LPA, GBR en de VBP-ketens (voor Tihange 1) en EPA, GBR, GCH (voor Tihange 2&3). Dit maakt betrouwbare informatie mogelijk over potentiële lozingen van radioactiviteit naar de buitenomgeving.

Al deze systemen of de delen van deze systemen die moeten werken in geval van een ongeval zijn ontworpen als seismische categorie 1 en bevinden zich in de seismische categorie 1-structuren. De ventilatie/koeling van bepaalde veiligheidsuitrusting is vitaal voor hun goede werking.
Het is ook nodig omgevingsomstandigheden binnen de grenzen gedefinieerd voor de leefzone te houden. Om deze redenen zijn de volgende systemen eveneens geschikt (of gedeeltelijk geschikt: slechts een deel van het systeem is geschikt) om te weerstaan tegen een DBE: VEA, VLE, CSC, VBP en ventilatie van de BUR.

De eerste periodieke veiligheidsherziening van Tihange 1 (1985) leidde tot de definitie van een noodsysteem om gebeurtenissen te beheren die niet in overweging werden genomen in het eerste ontwerp van het elektriciteitsgebouw van de reactor. Dit is het Noodsysteem (*Système d'Ultime Repli* - SUR) dat een extra veiligheidssniveau voor Tihange 1 vormt.

Sturing en controle
De controlekamer en de BUS-controlekamer (voor Tihange 2&3) en zijn panelen, desks, instrumentatiekasten en schakelkasten staan in voor de sturing en controle op afstand van alle eerder vermelde vereiste systemen. Deze zijn bijgevolg geschikt om bestand te zijn tegen een aardbeving van DBE-niveau.
Deze controle- en stuursystemen zorgen voor de automatische bescherming van de reactor in normale werkingsomstandigheden, en de inschakeling van de veiligheidssystemen en hun hulpsystemen.

Elektrische systemen
In geval van totaal verlies van externe elektrische voeding wordt gebruik gemaakt van autonome productiebronnen bestaande uit elektriciteitsgeneratoren met GDS-dieselmotoren.
In geval van verlies van dit eerste veiligheidsniveau zorgt een tweede volledig onafhankelijk niveau van elektrische voeding (drie GDU-dieselmotorgeneratoren per eenheid) voor aandrijving van de nooduitrusting van het tweede niveau van Tihange 2&3. Voor Tihange 1 vormen een generator van het turbinetype aangedreven door secundaire stoom (*groupe d'ultime secours* - GUS) en een dieselgenerator *(diesel d'ultime repli* - DUR) een noodstroombron.
Een reservedieselgenerator (*Groupe Diesel de Réserve* - GDR), aanwezig in Tihange 2, biedt extra back-up beschikbaar voor de drie eenheden. In feite kan dit systeem een van de diesels (GDS) van elk van de eenheden vervangen.
De GDS-, GUS-, GDR- en DUR-generatoren zijn gekwalificeerd als seismische categorie 1 and en zijn evenzo gelegen binnen in de seismische categorie 1-structuren.

DE-splijtstofdokkengebouw
De gebruikte splijtstofelementen van de drie eenheden op de site van Tihange, die minstens twee jaar ontladen zijn geweest, worden onder water bewaard (in dokken) in het DE-gebouw voor "tussenopslag van gebruikte splijtstof". Dit is eveneens een seismische categorie 1-structuur.
De kringen van het DE-gebouw, dat zijn de koeldokkenkoeling (STP, SRI en CRI), de ventilatie van het gebouw (VDE) en de isolatie van de afvoerkring (SEX/CEX), zijn ontworpen volgens dezelfde basissen en door toepassing van dezelfde regels als deze gebruikt voor de overeenkomstige systemen van Tihange 3. Voor deze systemen wordt de geschiktheid voor werking van de actieve pompen, actieve kleppen en hun motoren of aandrijfmechanismen en hun respectieve vitale montage-elementen aangetoond. De instrumentatie en uitrusting van het DE-gebouw heeft classificatie 1E.

Kerncentrale Doel
Voor zowel Doel 1/2 als Doel 3&4 zijn de vereiste structuren, systemen en componenten die essentieel zijn voor een veilige stilstand (safe shutdown) gecategoriseerd als seismische categorie I.

Doel 1/2

Het General Design Criterium 2 van 10 CFR 50 (appendix A) vereist dat structuren, systemen en componenten die van belang zijn voor de veiligheid, zo ontworpen worden dat ze weerstand bieden tegen natuurlijke verschijnselen. Hun veiligheidsfunctie mag in geen geval in het gedrang komen.

Deze structuren, systemen en componenten behoren tot de seismische categorie I en worden ontworpen in overeenstemming met de seismische criteria die voor deze categorie van toepassing zijn.
Bij het ontwerp van Doel 1 en 2 werd de seismiciteit van de streek als te laag beschouwd om er bij het ontwerp rekening mee te moeten houden. Naar aanleiding van de eerste periodieke veiligheidsherziening (1985) werd het risico op aardschokken opnieuw onder de loep genomen. Op dat moment werd de beslissing genomen om

- een referentieaardbeving te overwegen (DBE met PGA van 0,058 g);
- de nodige middelen te voorzien om waarborging van kritieke veiligheidsfuncties mogelijk te maken als dergelijke aardbeving zou plaatsvinden.

Bouwstructuren

De weerstand tegen de DBE van het Reactorgebouw (RGB), het Gebouw Reactorhulpdiensten (BAR) en het Gebouw Nucleaire Hulpdiensten (GNH) werd heel precies berekend, uitgaande van een mathematisch model van de gebouwen. De berekeningen hebben aangetoond dat de gebouwen de aardschokken van de DBE kunnen weerstaan.

Systemen

De veiligheidssystemen die vereist zijn om Doel 1/2 naar een veilige stilstand (of safe shutdown) te brengen, garanderen het behoud van volgende functies:

- de afvoer van de restwarmte, met inbegrip van de afkoeling van de primaire kring door de secundaire kring;
- het behoud van een onderkritische toestand van de reactor, ook bij de overgang naar en tijdens de koude stilstand;
- de monitoring van de waterbalans in de primaire kring;
- de monitoring van de druk in de primaire kring.

Deze functies maken het mogelijk om de reactor onmiddellijk in warme stilstand te brengen, en zo te houden. Op langere termijn wordt de overgang naar en het behoud van de koude stilstand mogelijk. Deze functies maken ook verwijdering van de warmte mogelijk van een eenheid die reeds in een koude stilstand verkeert op het moment van de aardbeving (warmteafvoer via het SC-systeem)

Een bijkomende veiligheidsfunctie betreft de koeling van de splijtstofdokken in het Gebouw Nucleaire Hulpdiensten (GNH).

Voor elke eenheid bevat het Gebouw voor Noodsystemen (GNS) een aantal bijkomende voorzieningen, die het mogelijk maken de eenheden veilig stil te leggen na een aardbeving.
Deze noodsystemen omvatten, per eenheid:

- een noodvoedingswaterkring (EF);
- een noodinjectiesysteem voor de dichtingen (RJ) van de primaire pompen, dat eveneens toelaat de waterbalans in de primaire kring en de reactiviteit van de reactor te controleren;
- een aantal ondersteuningssystemen: perslucht (EI), ventilatie (EV), koeling van de uitrustingen (EC-kring die de functie van de CC-kring kan overnemen), elektrische voeding door diesels (ED) en batterijen, instrumentatie;
- een noodcontrolekamer (NKZ) die monitoring van alle noodsystemen mogelijk maakt;
- een noodkoeling voor de splijtstofdokken (PL-kring).

Een aantal van de bestaande systemen werd reeds seismisch gekwalificeerd om het vermogen te waarborgen de eenheden in warme stilstand en vervolgens in koude stilstand te brengen in reactie op een aardbeving en om het vermogen tot afkoeling van de splijtstofdokken te waarborgen. Deze systemen zijn:

- de primaire kring, tot en met het tweede actieve isolatie-element of het eerste passieve, normaal gesloten isolatie-element;
- de secundaire kring, vanaf de stoomgeneratoren tot en met het eerste isolatie-element, met het oog op het behoud van de integriteit van dit deel van de kring;
- de stilstandskoelkring (SC) – voor afvoer van restwarmte op lange termijn;
- de koelkring van de splijtstofdokken (PL) – voor de afvoer van restwarmte;
- (de delen van) systemen en uitrustingen waarvan de val, ten gevolge van een aardbeving, schade kan veroorzaken aan de hoger vermelde systemen en uitrustingen.

Zowel het op peil houden van de waterinventaris van de primaire kring als de afkoeling en de afvoer van de restwarmte kunnen dus verzekerd worden door seismisch gekwalificeerde systemen en uitrustingen. Deze systemen en uitrusting werden gekwalificeerd ten opzichte van de DBE tijdens de eerste periodieke veiligheidsherziening (1985).

Elektrische uitrustingen
De elektrische uitrusting onder categorie 1E (volgens de definitie in norm IEEE 323-1974) ter ondersteuning van de hierboven vermelde systemen is bestand tegen aardbevingen.

Doel 3&4
Afhankelijk van de oorzaak van een incident – intern of extern – treedt een ander veiligheidsniveau in werking.
- Een eerste niveau (veiligheidsuitrusting) beschermt het milieu tegen elk incident waarvan de oorzaak binnen de installaties ligt;
- Een tweede niveau (nooduitrusting) beschermt het milieu tegen elk incident waarvan de oorzaak buiten de installaties ligt.

De structuren, systemen en componenten van beide niveaus zijn zo ontworpen dat hun veiligheidsfunctie intact blijft na een eventuele aardschok. Deze SSC zijn bestand tegen de gevolgen van een DBE, en voldoen dan ook aan de normen van seismische categorie I volgens de RG 1.29.

Bouwstructuren
Aan de bouwstructuren van het eerste veiligheidsniveau zijn specifieke veiligheidsfuncties toegekend: lekdichtheid, biologische afscherming, bescherming tegen projectielen van interne oorsprong, enz.
De bouwstructuren van het tweede veiligheidsniveau bieden bescherming aan de primaire kring, aan de splijtstof die is opgeslagen in de centrale en aan de andere systemen van het tweede niveau.
Al deze structuren zijn geklasseerd onder seismische categorie I.

Systemen
De systemen van het eerste veiligheidsniveau hebben de volgende functies:
- koeling van de kern (ECCS);
- borering (injectie met boorzuur) van de primaire kring;
- vrijwaren van de integriteit van het containment;
- behoud van de bewoonbaarheid van de controlezaal.

Bij een incident met een externe oorzaak waarborgen de systemen van het tweede veiligheidsniveau de koeling van de kern.

Elektrische uitrustingen
De elektrische uitrustingen van klasse 1E worden onderworpen aan een kwalificatieprogramma, waarbij de seismische eigenschappen en omgevingsfactoren onder de loep worden genomen.

Splijtstofcontainergebouw
De gebruikte splijtstof is opgeslagen in lekdichte containers in het Splijtstofcontainergebouw (SCG).
De containers werden ontworpen in overeenstemming met de vereisten van de IAEA Safety Series nr.6 van de Safety Standard Series nr. TS-R-1.
De in aanmerking genomen seismische spectra zijn diegene die verband houden met de site van Tihange, wat betekent dat de containers ook daar kunnen worden gebruikt. De toepasselijke waarden – 0,17 g horizontale versnelling, 0,11 g verticale versnelling - zijn hoger dan deze nodig voor de site van Doel.

2.1.2.2. Belangrijkste operationele voorzieningen

Instructies na aardbeving

Zowel op de site van Doel als deze van Tihange werd de EPRI richtlijnen (Electric Power Research Institute), een internationaal erkend document, gebruikt om na een aardbeving de stilstandsvereisten, de herstartvoorwaarden en de te ondernemen actie op lange termijn te definiëren om te waarborgen dat de eenheid kan blijven werken op het veiligheidsniveau vereist door de ontwerpbasis. Zoals vereist door de regelgeving (10 CFR 100) zijn de sites uitgerust met gepaste instrumentatie die een snelle beoordeling mogelijk maakt van de intensiteit van de aardbeving en mogelijk maakt om te beslissen of de kerncentrale in staat is veilig te blijven werken.

De procedures voor Tihange voor actie na aardbeving zijn in overeenstemming met de EPRI-richtlijnen. Geformaliseerd door instructies voor elke eenheid (incidentprocedure in Tihange 1) zetten ze de gepaste acties uit gespreid zijn over de tijd. Doel 1/2 en Doel 3 en 4 hebben een specifieke procedure 'acties na een aardbeving' die gebaseerd is op 10CFR50, app. S (92) en de EPRI-richtlijnen.

De instructies worden beschreven in procedures afhankelijk van de beginstaat van de reactoreenheid als een incident plaatsvindt. De eenheid kan in feite in normaal bedrijf (of in warme stilstand) zijn, in tussenstilstand of in koude stilstand (RRA aangesloten). De bedrijfsploegen zijn opgeleid om deze instructies na incident op te volgen.

Intern noodplan

De kerncentrales van Doel en Tihange hebben een intern noodplan dat voldoende flexibel is om elk incident op te vangen dat de veiligheid van de installatie of van personen kan bedreigen of dat een invloed op de omgeving kan hebben.

Operationele procedures

Het doel van deze operationele procedures is elementaire regels van beste praktijk vast te leggen om tijdelijke seismische interacties tijdens elk handeling te controleren/ elimineren. Het personeel is opgeleid om bijzondere aandacht te besteden aan het voorkomen van de ondermijning van de seismische kwalificatie van uitrusting door veranderingen in de omgeving:

- tijdelijk door de werktuigen, machines enzovoort te introduceren die nodig zijn voor de uitvoering van hun taken (stellingen, ladders, trapladders, enz.);
- permanent door het achterlaten van elk niet-verankerd voorwerp in de nabijheid van een veiligheidsuitrusting.

Op hun dagelijkse rondes zullen de bedrijfsploegen ook controleren dat geen geïnstalleerd/in de buurt van veiligheidsuitrustingen geplaatst materiaal een nadelige invloed kan hebben op deze uitrustingen door te vallen, in te storten, te verschuiven of om te kantelen.

Mobiele uitrustingen

Doel en Tihange kunnen de DBE aan zonder mobiele inrichtingen te moeten gebruiken. Niettemin houdt Electrabel een aantal van die hulpmiddelen stand-by teneinde het restrisico te beperken voor het zeer onwaarschijnlijke geval dat zowel de veiligheidssystemen van het eerste niveau als die van het tweede niveau het zouden laten afweten.

- elektriciteitskabels;
- mobiele compressor;
- mobiele dieselpomp.

2.1.2.3. Indirecte effecten van aardbevingen in aanmerking genomen tijdens het ontwerp

Kerncentrale Tihange

De studies uitgevoerd in het kader van seismische margebeoordeling tonen aan dat de in vorige paragrafen vermelde systemen de stilstand van de eenheid mogelijk maken in de volgende scenario's:

- een breuk van de dam veroorzaakt door een aardbeving;

- een aardbeving gecombineerd met een Loss of Offsite Power (LOOP = verlies van extern elektrisch net).

Deze maken in elk van deze scenario's ook het beheer mogelijk van interne overstroming in gevolge een aardbeving.

Overstroming van interne oorsprong

Tijdens de tweede periodieke veiligheidsherziening (1995) werd een studie uitgevoerd om de effecten van een overstroming van interne oorsprong in de gebouwen met veiligheidsuitrusting te analyseren. SQUG-inspecties (Seismic Qualification Utility Group) werden georganiseerd voor de niet-gekwalificeerde leidingen (Medium Energy Lines) om te waarborgen dat de buizen niet zullen breken als gevolg van de aardbeving.
Gebouw N in Tihange 1, gebouwen Z, P, O, B, D, N, W, galerijen K, BAE, GDS/GDR in Tihange 2 en gebouwen BAE, W, K, B, P en galerijen in Tihange 3 hebben SQUG-inspecties gekregen. Een studie van de gevolgen van een overstroming van interne oorsprong werd uitgevoerd voor de niet-seismische gebouwen.

Hieruit kan worden afgeleid dat voor de geïnspecteerde gebouwen volgens de SQUG-methode een overstroming van interne oorsprong na een aardbeving geen enkel gevaar zou vormen. Voor de andere gebouwen werd het meest kritieke scenario – dat wil zeggen een breuk in de CEC-pijp in de machineruimte – niet grondig bestudeerd, maar gezien de stroomsnelheid in vergelijking met het oppervlak en het volume van het gebouw, moeten de alarmen de bedrijfsploegen in staat stellen snel te reageren om schade aan belangrijke uitrusting te voorkomen.

Overstroming van externe oorsprong

Een beoordeling van potentiële overstroming werd uitgevoerd op de site van Tihange, waarbij de overstromingsbronnen gelegen buiten de gebouwen in aanmerking werden genomen: koeltorens, tanks, CEC-kringen, enz.

De breuk van elk van deze uitrustingen werd geanalyseerd. Voor het specifieke geval van pakking[2] die van de koeltorens valt, werd een overstromingsdebiet van de CEC van ongeveer 2 m³/s bestudeerd (gedeeltelijke pakkingval). Geen van deze gevallen vormt een veiligheidsprobleem op zich.

Deze conclusies werden hergebruikt en twee extra veronderstellingen werden toegevoegd:

- de gelijktijdige breuk van alle uitrusting (watertanks, dieseltanks) die niet bestand is tegen de ontwerpaardbeving (DBE);
- de val van alle pakkingen aan de voet van de koeltorens, die een overstroming van 50 % van het nominale CEC afvoerdebiet veroorzaakt.

Gevolgen van gelijktijdige breuk van watertanks

Alle tanks met een breukrisico zijn gelegen buiten de gebouwen. Het water dat ontsnapt uit deze tanks bij een breuk zal de helling van de grond volgen en stroomt af, weg van de gebouwen in de afvoerkanalen en goten.
Het water zal heel snel worden afgevoerd door het afvoernetwerk, waarvan de capaciteit 540 m³/ha/h (150 l/ha/s) bedraagt. Het water kan bijgevolg het ingangsniveau naar de gebouwen (71,5 m) slechts gedurende heel korte tijd bereiken. Slechts een minimale hoeveelheid water kan doordringen, gezien de aanwezigheid van industriële deuren die verplicht gesloten zijn. Bijgevolg zal geen veiligheidsuitrusting worden aangetast als deze tanks eventueel barsten.

Gevolgen van gelijktijdige breuk van dieseltanks

De twee dieseltanks zijn in een betonnen containerstructuur geplaatst. Zelfs als de tanks worden gebroken door de aardbeving, zullen deze containers de verspreiding van de ontsnappende diesel aanzienlijk vertragen.

Gevolgen van pakking die op de drie eenheden valt

[2] De pakking is de waterdispersiemodules in de koeltoren. Deze bestaan uit een bed met een dikte van ongeveer twee meter polyethyleen met honingraatstructuur. Dit helpt het water te verspreiden om het uitwisselingsoppervlak met de lucht te maximaliseren.

In 2002 zijn twee van de talrijke betonnen pijlers die de pakking van de koeltoren van Tihange 3 ondersteunden gevallen na de breuk van een van hun basissen. Dit veroorzaakt de val van de pakking, die dan het uitlaatrooster aan de voet van de toren gedeeltelijk verstopte. Tijdens dit incident overstroomde ongeveer de helft van het geschatte afvoerdebiet van de CEC in plaats van terug te keren naar de Maas. Een grote hoeveelheid water stroomde over de site.
Na dit incident werd het ontwerp van de pakking herzien op Tihange 2 en 3. Op basis van de ervaren feedback van het incident van 2002 wordt de overstroomdebiet conservatief geschat op 50 % van het nominale debiet van de CEC.

Impact op de site

In Tihange 1 heeft het vallen van de pakking geen effect omdat de wand rond de koeltorenbak een opening heeft die een gewenste voorkeuruitloop creëert die groot genoeg is om 50 % van het nominale debiet af te voeren, of 100% van het overstroomdebiet in de richting weg van de veiligheidsgebonden gebouwen. In Tihange 2 en 3 zal 50 % van het nominale debiet van de CEC-kring de koeltorenbak in minder dan één minuut doen overstromen en dan de site beginnen te overstromen. Het waterpeil kan variëren tussen 15 cm en 25 cm. Dit betekent dat Tihange 2 en 3 worden omgeven door water behalve in het noorden, tegenover de Maas.

Impact op de eenheden

Waterinsijpeling in de verschillende zones wordt geanalyseerd rekening houdend met alle openingen in de gebouwen (zoals de luchtinlaatgaten in de deuren, de openingen onder de deuren, de vrije spleten en doorgangen in de wanden, enz.). De analyse wordt uitgevoerd rekening houdend met het feit dat de CEC-pompen redelijkerwijs zullen worden gestopt 30 minuten na het vallen van de pakking.

Tihange 1

Tihange 1 zal als laatste worden getroffen, vermits deze eenheid het verst verwijderd is van de koeltorens van Tihange 2 en 3, en slechts gedurende heel korte tijd bij het probleem zou zijn betrokken. Er wordt verwacht dat de dieselgenerators van de eenheid zullen onderlopen. Dit zullen de enige getroffen componenten zijn. Met de externe stroomvoorziening onbeschadigd zullen alle componenten aangedreven en beschikbaar blijven, in het bijzonder deze vereist voor de stabiele en gecontroleerde stilstand van de kern en voor de afkoeling van de dokken. De gevolgen zijn identiek bij stilstand.

Tihange 2

De eerste gebouwen die aanzienlijke hoeveelheden water zullen ontvangen zijn de machinekamer en de BAN-N.
Waterinsijpelingen naar de BAN-D of de lagere verdiepingen zullen geen tijd krijgen om in voldoende volumes op te bouwen om ernstige schade te veroorzaken. De BUS-uitrustingen zullen in ieder geval beschikbaar zijn voor de afkoeling van de splijtstof, aangezien de insijpelingen zullen worden verminderd, terwijl de te vullen volumes groot blijven en de pompsystemen in bedrijf blijven. Twee van de drie CEU-grondwaterpompen zullen echter verloren gaan, aangezien deze zich in de rechtstreekse lijn van de waterstroom van de toren van Tihange 2 naar de Maas bevinden. Dit zal geen onbeschikbaarheid van de door deze pompen ondersteunde uitrusting veroorzaken, aangezien drie extra CEU-pompen water uit de Maas kunnen pompen en dienst doen als een koelingsbron. Gebouw O zal overstromen, maar de externe stroomvoorziening zal nog altijd beschikbaar zijn, waardoor dit geen gevolgen zal hebben voor de veiligheidsuitrusting die nodig is voor de afkoeling van de splijtstof.
Dank zij hun ligging langs de Maas, aan de noordkant en bijgevolg beschermd tegen waterstromen, zullen de GDS (en hun dieselopslaggebouw), de CEB- en CEU-Maaspompen en de EAA-zones geen rechtstreekse wateraanval ondervinden en zullen beschikbaar blijven.

Ondanks het volume van de waterstroom en de grootte van de getroffen zone zullen de nog beschikbare systemen en uitrustingen het mogelijk maken doeltreffende koeling in stand te houden voor onbepaalde duur dankzij veiligheidsuitrusting van het eerste of het tweede niveau.

Bij een stilstand zullen de CEC-pompen gedurende 80 % van de tijd stilgelegd zijn (tijdens onderhoud van de uitrusting van de secundaire kring). De overige 20 % van de tijd is een groot aantal

personeelsleden aanwezig op de site en de overstroming van de koeltorenbak zal heel snel worden gerapporteerd en dan tegengehouden (een tankpeilalarm is eveneens beschikbaar).

Tihange 3

De eerste delen van de getroffen installatie zullen de machinekamer, de werkplaats en gebouw E zijn. Dit zal geen gevolgen hebben voor de veiligheidsuitrusting. Want hoewel gebouw E geklasseerde uitrusting bevat (de elektrische hoofdschakelborden), zijn deze gelegen op de bovenste verdiepingen en zullen ze bijgevolg niet worden getroffen door het water van de CEC.
Slechts een van de CEU-grondwaterpompen zal verloren gaan. De drie Maas CEU-pompen zullen beschikbaar blijven.

De insijpelingen in het DE-gebouw voor gebruikte splijtstof zal van buiten komen en van zijn aansluiting op het PHI-gebouw. Rekening houdend met het grote oppervlak van de ondergrond, de lage insijpelingsstromen en de beschikbaarheid van pompsystemen, zullen de koelpompen voor de koeldokken beschikbaar blijven.
Bovendien zorgt de passieve inertie van de DE-dokken ervoor dat het meer dan 24 dagen duurt vooraleer de splijtstofstaven ontbloot worden, zelfs als de pompen worden gestopt en geen actie wordt ondernomen.

De CEB-pompen, de EAA-pompen, de EAA-tank, de GDS en de hoofduitrusting voor splijtstofkoeling gesitueerd in de BUS, de BAN-N en de BAN-D zullen operationeel blijven. Gebouw O zal overstromen maar, aangezien de externe stroomvoorziening nog altijd beschikbaar zal zijn, zal dit geen gevolgen hebben voor de veiligheidsuitrusting die nodig is voor de afkoeling van de splijtstof.

Zoals in Tihange 1 en 2 zal de nog beschikbare uitrusting het mogelijk maken voldoende koeling in stand te houden gedurende een onbeperkte tijd, door de veiligheidsuitrusting van het eerste en het tweede niveau. De analyse voor een stilstandstatus is identiek aan deze voor Tihange2.

Voorzienbare maatregelen om de robuustheid van de site te verhogen

Zelfs als deze grote maar onwaarschijnlijke gebeurtenis geen ernstige gevolgen heeft, worden toch de volgende acties ondernomen voor Tihange 2 en 3:

- aanpassing van de aardbevingsbeheerprocedures om heel snel een werknemer te zenden om na te gaan of de koeltoren overloopt. In dat geval zullen de CEC-pompen snel worden gestopt;
- studie van de relevantie van een automatische stop van een van de twee CEC-pompen in geval van hoog waterpeil in de koeltorenbakken.

<u>Toegang tot de site en toegang tot de gebouwen en de zones</u>

Verschillende toegangswegen worden geïdentificeerd naar de controlekamer na een aardbeving: twee toegangswegen voor voetgangers/voertuigen zijn de voorkeurroutes in een situatie na ongeval. Deze toegangswegen kunnen later worden ontdaan van puin door een zwaar voertuig van het bulldozertype. Als de voetgangerstoegang niet mogelijk is, kan een helikopterlift worden geregeld en er zijn verschillende landingzones mogelijk.
Aangezien de betrokken gebouwen een seismisch ontwerp hebben, zijn de toegangswegen die moeten worden gebruikt na een aardbeving zodanig ontworpen dat ze vrije toegang bieden na een aardbeving.

Kerncentrale Doel

<u>Interacties tussen structuren, systemen en componenten</u>

Structuren, systemen en componenten die niet bestand zijn tegen de ontwerpaardbeving kunnen schade veroorzaken aan andere SSC met een veiligheidsfunctie.
Om deze reden werden SQUG-inspecties georganiseerd als onderdeel van de periodieke veiligheidsherzieningen van de vier eenheden in Doel in alle gebouwen waar veiligheidsuitrusting aanwezig is. Waar nodig werd uitrusting die niet bestand is tegen de aardbeving verwijderd of seismisch gekwalificeerd.

<u>Overstroming van interne oorsprong</u>

Tijdens de laatste periodieke veiligheidsherziening werd een studie uitgevoerd om de gevolgen van een overstroming van interne oorsprong in de gebouwen met veiligheidsuitrusting te analyseren. SQUG-inspecties werden georganiseerd voor de niet-gekwalificeerde leidingen (Medium Energy Lines) om te waarborgen dat de buizen niet zullen breken als gevolg van de aardbeving.
Dergelijke SQUG-inspecties hebben plaatsgevonden in de volgende gebouwen:

- Doel 1/2: GNS, TUR 1/2, BAR, MWP, GNH. Voor MAZ en GMH is er geen SQUG-inspectie geweest, wel een studie voor de interne overstroming.
- Doel 3&4: GEH, BKR, GMH. Voor GVD en GNH is er geen SQUG-inspectie geweest, wel een studie voor de interne overstroming.

In de gebouwen waar een SQUG-inspectie uitgevoerd werd, staan de veiligheidsuitrustingen niet bloot aan een mogelijke interne overstroming als gevolg van een aardbeving. In de overige gebouwen zijn er maatregelen getroffen om de veiligheidsuitrustingen te beschermen tegen een overstroming als gevolg van een breuk in een leiding.

Overstroming van externe oorsprong
Het gevaar op overstromingen werd tevens uitgebreid onderzocht, rekening houdend met alle mogelijke bronnen die buiten de gebouwen liggen: koeltorens, tanks e.d. Preventieve maatregelen werden reeds genomen in het kader van de periodieke veiligheidsherziening (onderwerp B4). Analyse van de gevolgen van dit soort overstromingen toont aan dat de risico's volledig gedekt zijn door de maatregelen en procedures voorzien in de periodieke veiligheidsherziening.

Toegang tot de site en toegang tot de gebouwen en de zones
Er zijn twee toegangswegen tot de site in Doel. Er is een landingsplaats voor een helikopter, voor het geval beide toegangswegen over land versperd zouden zijn. Er kan ook toegang verleend worden langs de Schelde, via een aanlegplaats op de watervang van Doel 1/2.

Op de site werden alle ingangen tot de controlezalen en de noodcontrolezalen nagezien. In Doel 1/2 is de controlekamer niet gelegen in een gebouw dat seismisch geklasseerd is onder categorie 1. In het licht van de talrijke toegangsmogelijkheden mag er van worden uitgegaan dat de controlekamer toegankelijk blijft.
In Doel 3&4 bevindt de controlezaal zich in een seismisch gekwalificeerd gebouw, zodat de toegang na een aardbeving niet in het gedrang komt.
De noodcontrolezalen van de vier eenheden zijn allemaal bereikbaar langs minstens twee verschillende wegen.
De brandweerwagens beschikken over materieel om kleine obstakels uit de weg te ruimen, om een doorgang door een omheining te forceren, enz.

Er is ook rekening gehouden met de mogelijkheid dat de aardbeving een toxische gaswolk doet vrijkomen buiten de site. Daartoe zijn de gewone controlezalen uitgerust met een detectiesysteem, dat automatisch de controlezaal isoleert van de buitenlucht. Tevens zijn er volgelaatsmaskers met filter voorzien, evenals autonome zuurstofflessen, voor de bedrijfsploeg en de assisterende kaderleden. In Doel 1/2 zijn er ook zuurstofflessen voorzien in de noodcontrolezaal.

2.1.3. Conformiteit van de centrale met de ontwerpbasis waarover ze momenteel beschikt

2.1.3.1. Algemene organisatie van de exploitant om de conformiteit met de ontwerpbasis te garanderen

De veroudering van systemen, structuren en componenten voor de veiligheid van een nucleaire installatie wordt in het oog gehouden om te waarborgen dat de vereiste veiligheidsfuncties beschikbaar blijven over de volledige levensduur van de eenheid.
De Technische Specificaties (Hoofdstuk 16 van het veiligheidsanalyserapport) beschrijven de verplichte controlemaatregelen voor elk systeem. Dit maakt het mogelijk om de beschikbaarheid van de uitrusting te controleren via procedures die de limieten van elke gemeten parameter aangeven. Dit

hoofdstuk beschrijft ook de te nemen maatregelen – en de relevante tijdslimieten – in geval van onbeschikbaarheid van uitrusting. Bovendien beschrijft het programma van periodieke tests uitgevoerd op deze systemen de controlemaatregelen toegepast op geklasseerde uitrusting. Dit betreft meer bepaald het buisleidingenwerk, tanks, kleppen en pompen, inclusief hun dragers en schokdempers.

2.1.3.2. Organisatie van de exploitant voor voorraden en mobiele uitrusting

De verschillende ontwerpscenario's in verband met een aardbeving vereisen normaal niet het gebruik van mobiele uitrusting. Eerstehulpuitrusting kan echter worden gebruikt voor buiten-ontwerp scenario's (beyond design), situaties die bijvoorbeeld vallend puin en of vallende buizen zouden inhouden.
Het benodigde materiaal wordt opgeslagen op (of in de buurt van) de site.
Speciale uitrusting is voorzien voor op de eigenlijke site met de bedoeling het mogelijk te maken de noodprocedures uit te voeren (beyond design). Deze uitrustingen worden periodiek gecontroleerd.

2.1.3.3. Potentiële afwijkingen en corrigerende actie

De hierboven beschreven tests en inspecties kunnen enige niet-conformiteiten aantonen. Als deze zo belangrijk zijn dat de uitrusting niet langer voldoet aan de ontwerpcriteria, beschrijft het veiligheidsanalyserapport de tijdslimieten voor interventie en de te nemen maatregelen. In bepaalde specifieke gevallen worden Justifications for Continued Operation (JCO = rechtvaardigingen voor voorgezet bedrijf) opgesteld door de exploitant en goedgekeurd door de veiligheidsautoriteit. Deze documenten tonen aan dat de (gedeeltelijke) niet-conformiteit van een uitrusting ten opzichte van de regelgeving de veiligheidsfunctie niet in gevaar brengt, als de aanbevolen tijdelijke maatregelen worden toegepast.

Op 30 juni 2011 was de enige afwijking ontdekt op de site van Tihange vanuit seismisch oogpunt het onderwerp van JCO 2010-01: "Het elektrisch bord die de trage opstart van 7 diesels in Tihange 2 mogelijk maakt is niet seismisch geklasseerd."

Voor Doel hebben de onderstaande afwijkingen van het seismisch concept van de uitrustingen nog geen definitieve oplossing gekregen (situatie op 30/06/2011). Geen enkele van deze afwijkingen brengt echter de goede werking van de uitrusting in gevaar.

- Doel 1/2: geen.
- Doel 3&4: volgens de besluiten van de periodieke veiligheidsherziening, onderwerp A4, dienen de polaire rolbruggen in de reactorgebouwen uitgerust te zijn met een seismisch gekwalificeerde noodstop op de werkvloer. Dit is momenteel nog niet het geval; er is enkel een seismisch gekwalificeerde noodstop in de cabine van de brug.

2.1.3.4. Specifieke controle van de conformiteit van installaties na het incident in Fukushima

Na de gebeurtenissen in Fukushima werd een specifieke controle uitgevoerd om na te gaan of de centrale de huidige vereisten van de exploitatievergunning naleefde.
Tijdens deze controle werd het wenselijk geacht het kwalificatieniveau van de afkoelingskringen van het splijtstofdok te verhogen tot 0,17 g voor Tihange. De nodige studies en aanpassingen werden uitgevoerd voor 30 juni 2011.

Bovendien voerde de site na het incident in de kerncentrale van Fukushima ook een specifiek betrouwbaarheidsonderzoek uit: SOER 2011-2 WANO. Dit betreft de controle van:

- maatregelen om de effecten van 'beyond design basis' ongevallen te beperken;
- conformiteit van de installatie met het ontwerp op het vlak van bestandheid tegen verlies van stroomvoorziening;
- bescherming tegen overstromingen (intern en extern);
- bestandheid tegen overstroming of brand veroorzaakt door een aardbeving.

Er werd geen afwijking van seismisch ontwerp gedetecteerd tijdens deze controles op de site van Doel en van Tihange.

2.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges

2.2.1. Aardbevingsbereik leidend tot ernstige splijtstofschade – Beschrijving van SMR-methodologie

2.2.1.1. Veiligheidsmarges in het ontwerp van kerncentrales

Kerncentrales zijn ontworpen volgens strikte voorschriften en reglementen. Hun ontwerp omvat marges die intrinsiek zijn aan elk stadium van het ontwerpproces. Ter illustratie vindt u hier enige voorbeelden van conservatismen die verband houden met seismische ontwerpstudies:

- De seismische responsspectra zijn verbreed en versterkingsfactoren worden vaak verhoogd om rekening te houden met de spreiding in de eigenschappen van aardbevingen en de bodem;
- De modale respons van gebouwen die dienen om het gedrag van mechanische en elektrische uitrusting te controleren worden bekomen met behulp van een elastische lineaire methode die conservatief is op het vlak van hun werkelijk gedrag. De schokdempingswaarde van de grond is minder dan in werkelijkheid en de responsspectra berekend op verschillende niveaus van het gebouw zijn opnieuw verbreed;
- Het gedrag van uitrusting wordt bepaald met een schokdempingswaarde minder dan realiteit; de berekeningsmethodes voeren nieuwe conservatismen in;
- De weerstand van materialen wordt geverifieerd zonder rekening te houden met de plastische eigenschappen. Er werden gewaarborgde minimumwaarden van materiaaleigenschappen gebruikt. De constructiecodes vereisen ook combinaties van conservatieve belastingen.

Deze in het ontwerp gebruikte conservatismen hebben een cumulatief effect dat leidt tot in het algemeen heel hoge veiligheidsmarges. Zo zijn bijvoorbeeld de leidingen in kerncentrales heel ductiel en kunnen aanzienlijk vervormen vooraleer enig defect optreedt. De algemeen waargenomen marges voor buisleidingen in kerncentrales in geval van een aardbeving mogen als viervoudig worden beschouwd. Met andere woorden, de seismische belasting kan worden vervierfoudigd zonder enig probleem voor de veiligheid van de installatie. Elektrische uitrusting en componenten worden getest op triltafels met seismische belastingen die veel hoger zijn dan de werkelijk vereiste waarden.
De intrinsieke seismische marges van de kerncentrales zijn bijgevolg algemeen heel groot.

Hoewel alle ontwerpcodes en standaarden worden nageleefd, kan sommige uitrusting lagere marges vertonen dan de algemeen waargenomen waarden. Deze situatie ontstaat in het bijzonder in oudere kerncentrales gecontroleerd met methodes die op dat moment toepasselijk zijn en waarvan het seismisch niveau sindsdien werd geherwaardeerd, zoals Tihange 1 en Doel 1/2. Om gepast te reageren is het nodig om elke structuur, elk systeem of component te onderzoeken van de kerncentrale die betrokken is bij het verwezenlijken van een stabiele en gecontroleerde stilstand na een aardbeving.

2.2.1.2. Methodologie voor de beoordeling van seismische marges

Er werd een beoordeling gemaakt van de seismische marges van de drie eenheden in Tihange en de vier eenheden in Doel. Deze beoordeling is gebaseerd op twee hoofdelementen:

- een analyse van het gedrag van structuren, systemen en componenten onderworpen aan een aardbeving van grotere intensiteit dan de huidige ontwerpaardbeving van de eenheden. Deze gebruikt de beschikbare seismische analyses en de resultaten van vroegere SQUG-inspecties.
- een nieuwe Seismic Margin Review (met behulp van een methodologie afgeleid van de Seismic Margin Assessment) gebaseerd op de beoordeling van ervaren ingenieurs, inclusief eminente internationale experts met talrijke referenties in dit vakgebied. In het bijzonder inspecteerden deze experts tijdens rondgangen de vereiste SSC voor een stabiele en gecontroleerde stilstand voor alle reactoreenheden van Doel en Tihange.

Het doel van een *Seismic Margin Assessment* (SMA = beoordeling seismische marge) is de beschikbare marges voor een kerncentrale te bepalen voorbij haar seismisch ontwerpniveau. Deze

internationaal gebruikte en erkende studies volgens een methodologie ontwikkeld door EPRI en beschreven in document NP-6041. De methode is gebaseerd op de definitie van een *"Review Level Earthquake"* (RLE) die (theoretische) weergave mogelijk maakt van het seismisch gedrag van een kerncentrale voorbij haar DBE, identificatie van zwakke punten en bepaling van beschikbare marges. Ervaring met echte gebeurtenissen vormt de kennisbasis voor het gedrag van de uitrusting in geval van een aardbeving. Deze basis wordt gebruikt als referentie bij het schrijven van precieze richtlijnen voor site-inspectie. De SMA-studies worden bijgevolg gebruikt om aan te tonen dat een kerncentrale in staat is een veel grotere aardbeving te doorstaan dan deze overwogen tijdens zijn ontwerp. De SMA-methodologie werd toegepast op talrijke kerncentrales over de hele wereld om aan te tonen dat de eerder beoordeelde seismische gevaren aanvaardbaar zijn, afhankelijk van mogelijke versterkingen van uitrusting met een lage marge.

De Seismic Margin Review (gebaseerd op de SMA-methodologie) voor de Belgische kerncentrales bestaat uit de volgende fasen:

- onderzoek van de seismische ontwerpbasis en de ontwerpdocumenten:
  - data en resultaten van studies van de grondstabiliteit en de gebouwfunderingen,
  - resultaten van seismische analyses van originele structuren en de resultaten van herevaluatie (analyses, triltafeltests, enz.);
  - resultaten van een voorafgaande SMA-analyse uitgevoerd voor Tihange 1 en Doel 3 als onderdeel van een periodieke veiligheidsherziening;
- beoordeling van de stabiele en gecontroleerde stilstandstrategie;
- opstelling en bestudering van de lijst van SSC die nodig is voor een stabiele en gecontroleerde stilstand voor elke eenheid. Deze lijst werd voltooid met de SSC nodig voor de koeling voor de splijtstofdokken;
- evaluatie van het RLE-spectrum ontwikkeld door Electrabel;
- inspectie van deze SSC om het gedrag te evalueren tijdens een aardbeving van RLE-niveau. Deze inspecties werden reeds uitgevoerd in alle gebouwen van de verschillende reactoreenheden van Doel en Tihange die toegankelijk zijn wanneer de centrale in bedrijf is. Voor de niet-toegankelijke gebouwen (voorbeeld reactorgebouwen) zullen deze inspecties worden voltooid tijdens toekomstige geplande stilstanden van deze eenheden;
- bovendien werden de bevindingen van het eerste team experts gecontroleerd door een ander team internationaal erkende experts. Deze bijkomende controle leidt tot een heel hoge betrouwbaarheidsgraad van de resultaten.

Deze inspecties bestrijken de SSC die als noodzakelijk wordt geïdentificeerd in geval van een aardbeving om stabiele en gecontroleerde stilstand tot stand te brengen vanuit de volgende begintoestanden:

- vermogenwerking of warme stilstand (stoomgeneratoren beschikbaar);
- koude stilstand (stoomgeneratoren onbeschikbaar);
- kern volledig ontladen in splijtstofdok.

Voor de gebouwen bestaan deze evaluaties uit:

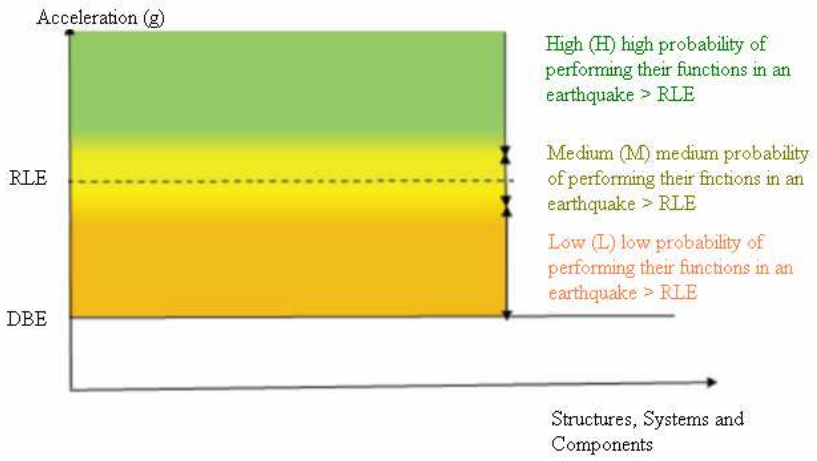
- identificatie van de aanwezigheid van wanden en metselwerk of andere niet-seismische elementen in de buurt van seismisch geklasseerde uitrusting;
- identificeren van de aanpassingen die de structurele integriteit van het gebouw kunnen in het gedrang brengen;
- controle van de uitzettingsvoegen tussen gebouwen/structuren;
- identificatie van potentiële impactrisico's van aanpalende gebouwen/structuren;
- identificatie van seismische belastingen en potentiële faalmodi gebaseerd op een gedetailleerde evaluatie van de plannen van de gebouwen, inclusief de ontwerpdetails en berekeningen.

Wat de elektrische en mechanische uitrustingen betreft zijn de volgende inspecties uitgevoerd:

- Evaluatie volgens de richtlijnen van EPRI NP-6041.
- Evaluatie van de capaciteit van de uitrusting nodig om te blijven functioneren na een aardbeving met een RLE-niveau. Hierbij dient vermeld dat de minimumversnelling tegenover dewelke de weerstand van de uitrustingen geëvalueerd wordt volgens EPRI NP-5041 0,3 g

bedraagt, onafhankelijk van de waarde van de RLE bij de hogere frequenties (in het geval van Doel 0,17 g).
- De verankering controleren.
- Nazicht van eventuele interacties met naburige uitrustingen.
- Evaluatie van de mogelijke indirecte gevolgen van een aardbeving, zoals interne en externe overstromingen.

Na beoordeling en inspecties worden de geïdentificeerde SSC geklasseerd in drie categorieën:
- structuren, systemen en componenten met heel grote waarschijnlijkheid (95 % vertrouwen) van behoud van integriteit en van hun functie in een aardbeving die het RLE-niveau overstijgt. Deze zijn geklasseerd als Hoog (H);
- structuren, systemen en componenten met heel grote waarschijnlijkheid (50 % vertrouwen) van behoud van integriteit en van hun functie in een aardbeving die het RLE-niveau overstijgt Deze zijn geklasseerd als Medium (M). Deze categorie omvat ook de elementen waarvoor het moeilijk is hun klassering als Hoog (H) te valideren zonder bijkomende gegevens en berekeningen;
- structuren, systemen en componenten met kleine waarschijnlijkheid (10 % vertrouwen) van behoud van integriteit en van hun functie in een aardbeving die het RLE-niveau overstijgt. Deze zijn geklasseerd als Laag (L).



Figuur 7: Klassering van SSC in categorieën H, L, M.

De beoordeling van marges wordt uitgevoerd ten opzichte van de RLE. Alle SSC die nodig zijn voor stabiele en gecontroleerde stilstand, zijn en blijven geklasseerd voor DBE. Deze klassering van seismische componenten verschaft een algemeen beeld van de capaciteit van de componenten van de installatie met betrekking tot de RLE. Zoals getoond in afbeelding 7 kunnen elementen geklasseerd als Laag een capaciteit hebben die dicht bij de RLE ligt, wat echter niet kan worden aangetoond door de inspectie. Een gedetailleerde beoordeling (door berekening of tests) of een aanpassing kan snelle wegwerking van zwakheden in de componenten mogelijk maken.

De SSC waarvan de waarschijnlijkheid van bestandheid tegen de aardbeving als Laag geklasseerd is volgens de inspectie, zal het onderwerp vormen van gedetailleerde berekeningen of expertbeoordelingen om hun seismische marge preciezer te bepalen.

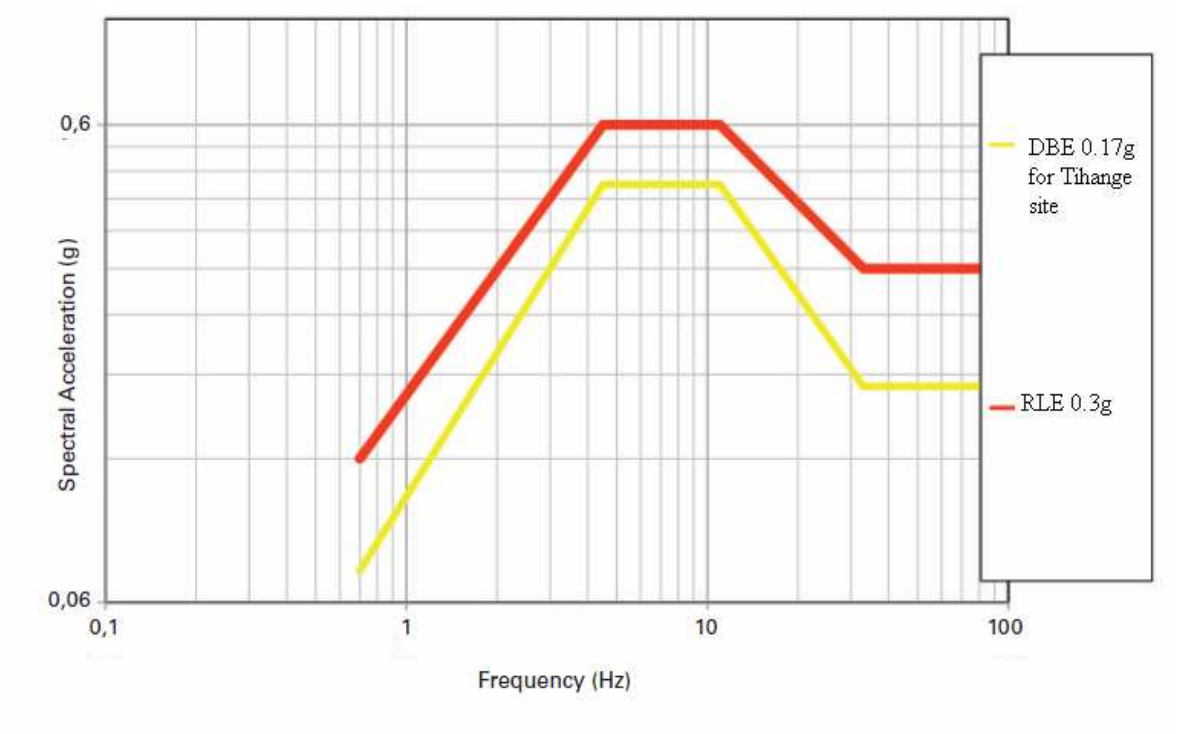
2.2.1.3. Keuze van "Review Level Earthquake"

Het seismisch niveau hoger dan het seismisch ontwerpniveau van de eenheden, dat bekend staat als "Review Level Earthquake", is geen nieuwe ontwerpaardbeving maar eerder een niveau dat specifiek is voor de SMA-methode.
De keuze werd gemaakt op basis van de volgende elementen:

- de Europese gids voor nieuwe kerncentrales (European Utility Requirements) raadt een verhouding van 1,4 aan tussen de grondversnellingen te wijten aan RLE en deze te wijten aan DBE; andere internationale richtlijnen (IAEA) vermelden verhoudingen van 1,5 tot 1,66;
- een seismisch spectrum representatief voor de omstandigheden van de site;
- de nieuwe probabilistische seismische gevaarstudie uitgevoerd door de Koninklijke Sterrenwacht van België. Deze studie houdt rekening met de recentste seismische gegevens.

Kerncentrale Tihange

De analyse leidde tot de definitie van het RLE-spectrum dat in het onderstaande diagram wordt weergegeven. De maximum respons is 0,6 g voor frequenties van minder dan 12 Hz. Voor hogere frequenties is de piekgrondversnelling 0,3 g. Dit komt overeen met een aardbeving met een omvang van meer dan 6,5 op de schaal van Richter.



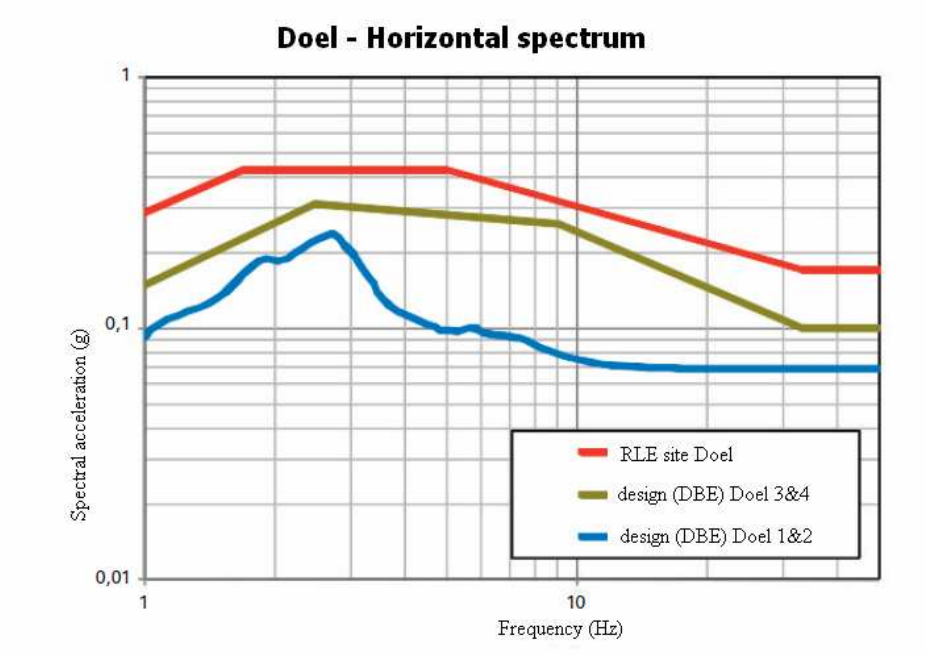
Figuur 8: Vergelijking van het RLE- en het DBE-spectrum voor Tihange

Deze RLE-waarde (PGA 0,3 g) wordt vaak gebruikt om margebeoordelingstests uit te voeren op sites met vergelijkbare seismologische kenmerken. Gelijklopend hiermee werd een nieuwe studie van de seismische activiteit van de site van Tihange uitgevoerd door de KSB. De resultaten van deze studie bevestigden de keuze van de RLE en lieten bijgevolg toe de studies uit te voeren op deze basis. In feite leveren de studies door de KSB een aanzienlijk lagere versnelling aan op de site van Tihange (PGA 0,21 g op rotslaagniveau)

Kerncentrale Doel

De analyse leidde tot de definitie van het RLE-spectrum dat in het onderstaande diagram wordt weergegeven.

De maximale respons bedraagt 0,42 g voor frequenties lager dan 5 Hz. Voor de hogere frequenties bedraagt de piekgrondversnelling 0,17 g, een waarde die verwijst naar de eerste, conservatieve resultaten van de KSB-studie (voor de aardbeving met een terugkeerperiode van 10.000 jaar). Dit komt overeen met een aardbeving met een magnitude groter dan 6,5 op de schaal van Richter.



Figuur 9 Vergelijking van het RLE- en het DBE-spectrum voor Doel.

2.2.1.4. Resultaten van SMR, zwakke punten

Een algemeen overzicht van de SMR-klassering van de SSC die nodig zijn in geval van een aardbeving om een stabiele en gecontroleerde stilstand te bekomen is terug te vinden in onderstaande tabel:

Tabel 7 SMR-resultaten voor de verschillende reactoreenheden : Percentage van SSC die geklasseerd werden met een waarschijnlijkheid van 'Hoog', 'Medium' of 'Laag' van behoud van integriteit en van hun functie in een aardbeving die het RLE-niveau overstijgt

SMA-marge Graad	Tihange 1	Tihange 2	Tihange 3	Doel 1/2	Doel 3 en 4
Hoog	43 %	78 %	75 %	88 %	76 %
Medium-Hoog[3]	34 %	2 %	2 %	-	-
Medium	16 %	14 %	20 %	6 %	23 %
Low	5 %	4 %	-	<1 %	<1 %
Andere (Medium)[4]	2 %	3 %	3 %	5 %	-

Meer gedetailleerde resultaten van de verschillende reactoreenheden worden hieronder beschreven:

Kerncentrale Tihange

Site van Tihange

Volgens de internationale experts die de seismische margebeoordeling uitvoerden voor een RLE gekenmerkt door een PGA van 0,3 g kunnen de volgende conclusies worden getrokken: "De inspectierondes van oudere eenheden (Tihange 1) bevestigden de seismische robuustheid van SSC voorbij de ontwerpbasis; er werden slechts enkele seismische kwetsbaarheden geïdentificeerd. Enkele

[3] Deze bestaan hoofdzakelijk uit elektriciteitskasten die niet konden worden geïnspecteerd tijdens vermogenwerking en die werden beoordeeld door vergelijking met andere elektriciteitskasten van hetzelfde ontwerp. Momenteel lopende studies tonen aan dat de meeste SSC uiteindelijk de klassering Hoog (H) zullen krijgen

[4] Deze elementen konden niet worden geïnspecteerd en werden geval per geval beoordeeld op basis van beschikbare gegevens zoals bestanden van de constructeur, ontwerpmededeling, berekeningsbladen, internationale ervaring, enz. Deze componenten worden conservatief beoordeeld als Medium (M);

bijkomende evaluaties zijn nodig om de seismische marge ten opzichte van de RLE aan te tonen. De inspectierondes van nieuwe eenheden (Tihange 2&3) brachten geen grote seismische problemen aan het licht. Van deze eenheden kon gemakkelijk worden aangetoond dat ze een RLE zouden overleven."

Bodemstudies in Tihange werden uitgevoerd door Franse experts. Deze gaven aan dat voor aardbevingen die RLE-niveau bereiken de bodem geen enkel risico van liquefactie vertoonde. Deze studies toonden ook aan dat er geen risico bestaat van terreininstabiliteit op de site van Tihange, met andere woorden, geen risico van aardverschuiving.

Tihange 1

In Tihange 1 werden 21 SSC als Laag geclassificeerd. Daarom wordt de kans klein geacht dat ze bestand zijn tegen een aardbeving die het RLE-niveau overschrijdt. Na meer nauwkeurige berekeningen of eenvoudige wijzigingen zouden deze componenten kunnen worden verhoogd tot de classificatie Hoog. Momenteel lopen bijkomende studies om de haalbaarheid van deze wijzigingen te bevestigen.

Tabel 8 Lijst van "Laag" geclassificeerde SSC in Tihange 1

Uitrusting	**Type uitrusting**
PCT1-CCV-V002PF	Pneumatische klep
PCT1-CCV-V005PV	Pneumatische klep
PCT1-CAE-P01Ba1	Pomp
PCT1-CRI-Q01DR1	Warmtewisselaar
PCT1-CTP-Q01BD1	Warmtewisselaar
PCT1-CTP-Q01BD1BIS	Warmtewisselaar
PCT1-CEB-P01EB3	Pomp
TAM1/S1	Hoofdschakelbord
TAM8/S1	Hoofdschakelbord
TR2/S1	Transformator 6 kV-380V
TR3/S1	Transformator 6 kV-380V
PDT/UR1	Verdeelbord
PDT/UR2	Verdeelbord
TAM1/S2	Hoofdschakelbord
TAM8/S2	Hoofdschakelbord
TR2/S2	Transformator 6 kV-380V
TR3/S2	Transformator 6 kV-380 V
PCT1-SCS	Filter
PCT1-SCS	Filter
PCT1-VLE-F13AV	Filter
PCT1-VLE-Q02AC1	Warmtewisselaar
PCT1-VLE-Q04AC1	Warmtewisselaar

Het elektriciteitsgebouw (BAE), aanvankelijk geklasseerd in categorie Laag (L) tijdens inspectierondes, is nu geklasseerd in de categorie Medium (M) door onafhankelijke experts na gedetailleerde beoordeling. De raadzaamheid van versterking van dit gebouw is het onderwerp van een haalbaarheidsstudie. Hierbij dient er echter te worden op gewezen dat de seismische intensiteit geïdentificeerd voor Tihange geen ernstige schade aan het gebouw zou berokkenen.

De resultaten van deze SMR-studie worden aangevuld met de herevaluatie van het seismische gedrag van componenten en ondersteuningen van de primaire kring. Dit gebeurde door middel van een preliminaire SMA als onderdeel van de laatste periodieke veiligheidsherziening. Men concludeerde dat deze uitrusting een ruime marge heeft met betrekking tot een DBE-aardbeving. Volgens de preliminaire SMA-studie zijn op basis van de RLE (PGA 0,3 g), de componenten en de primaire kring en zijn steunen voldoende sterk en vereisen geen specifieke herevaluatie.

Tihange 2 en Tihange 3

Wat de seismische marges betreft, is de situatie in Tihange 2 en 3 zelfs nog gunstiger dan deze in Tihange 1. De grote meerderheid van de SSC die nodig zijn voor een stabiele en gecontroleerde stilstand van deze eenheden hebben een heel hoge waarschijnlijkheid van behoud van hun integriteit en uitvoering van hun functies na een aardbeving die boven het RLE-niveau uitstijgt. Wat de mechanische en elektrische componenten betreft, werd geen opmerkelijke kwetsbaarheid geïdentificeerd. Er moet echter worden op gewezen dat bepaalde componenten lagere marges

vertonen: 3 uitrustingsstukken kregen de beoordeling Laag in Tihange 2 (twee hiervan omwille van interactie met andere, niet-seismische uitrusting).

Tabel 9 Lijst van "Laag" geclassificeerde SSC in Tihange 2

Uitrusting	Type uitrusting
PCT2-CEG-Z01	Koeleenheid
PCT2-CSC-A02B	Ventilator
PCT2-CTP-B02R	Tank

De resultaten van deze SMR-studie worden aangevuld met de herevaluatie van het seismische gedrag van componenten en ondersteuningen van de primaire kring. Dit gebeurde door middel van een preliminaire SMA als onderdeel van de laatste periodieke veiligheidsherziening. Men concludeerde dat deze uitrusting een ruime marge heeft met betrekking tot een DBE-aardbeving. Volgens de preliminaire SMA-studie zijn op basis van de RLE (PGA 0,3 g), de componenten en de primaire kring en zijn steunen voldoende sterk en vereisen geen specifieke herevaluatie.

Kerncentrale Doel

Site van Doel

Volgens de internationale experts die de seismische margebeoordeling uitvoerden voor de kerncentrale Doel, kunnen de volgende conclusies worden getrokken: "De inspectierondes van oudere eenheden (Doel 1/2) bevestigden de seismische robuustheid van SSC voorbij de ontwerpbasis; er werden slechts enkele seismische kwetsbaarheden geïdentificeerd. Enkele bijkomende evaluaties zijn nodig om de seismische marge ten opzichte van de RLE aan te tonen. De inspectierondes van nieuwe eenheden (Doel 3&4) brachten geen grote seismische problemen aan het licht. Van deze eenheden kon gemakkelijk worden aangetoond dat ze een RLE zouden overleven."

Er werden bodemstudies in Doel uitgevoerd die aangaven dat, voor aardbevingen die het RLE-niveau bereiken, de bodem geen enkel risico van liquefactie vertoonde. Deze studies toonden ook aan dat er geen risico bestaat van terreininstabiliteit op de site van Doel, met andere woorden, geen risico van aardverschuiving.

Doel 1/2

Slechts één component krijgt de classificatie Laag (L). Het betreft een klep in de injectieleiding aan de dichtingen van een primaire pomp. Deze tekortkoming wordt verholpen tijdens de stilstand van Doel 1 in november 2011.

De loopbrug naar de GNS is een zwak punt dat nog kan worden verbeterd. De loopbrug is een van de twee mogelijkheden om van de hoofdcontrolezaal naar de noodcontrolezaal in het GNS te gaan. De brug loopt via het dak van het GNH, waarvan een deel de classificatie Low (L) heeft gekregen.

Uit een aantal aanvullende studies komen de volgende conclusies naar voor:

- De fundering van de reactorgebouwen en van het GNS kunnen als representatief beschouwd worden voor het funderingstype van de verschillende gebouwen van Doel 1/2. Detailonderzoek toont aan dat de funderingspalen opgewassen zijn tegen een aardbeving van RLE-niveau.
- Tijdens de laatste periodieke veiligheidsherziening (voorafgaand aan de SMA) werden de primaire componenten en steunen ook opnieuw geëvalueerd. Er werd een aanvullende evaluatie volgens de SMA-methode uitgevoerd, die bevestigt dat deze componenten bestand zijn tegen de RLE.
- De aandrijving van de controlestaven van de reactor (Control Rods Drive Mechanisms, CRDM) werd ad hoc geëvalueerd. Er werd een marge van meer dan het RLE-niveau gevonden.

Doel 3&4

Slechts één component krijgt de classificatie Low (L). Het betreft een ventilatiekoker die onvoldoende ondersteund is. Dit euvel kan op korte termijn verholpen worden.

Tijdens de laatste periodieke veiligheidsherziening (voorafgaand aan de SMA) werden de primaire componenten en steunen ook opnieuw geëvalueerd. Er werd een aanvullende evaluatie volgens de SMA-methode uitgevoerd, die bevestigt dat deze componenten bestand zijn tegen de RLE.

2.2.1.5. Maatregelen om de robuustheid te verhogen

Kerncentrale Tihange

In Tihange 1 werden 21 SSC als Laag geclassificeerd. Daarom wordt de kans klein geacht dat ze bestand zijn tegen een aardbeving die het RLE-niveau overschrijdt. Na meer nauwkeurige berekeningen of eenvoudige wijzigingen zouden deze componenten kunnen worden verhoogd tot de classificatie "hoog". Momenteel lopen bijkomende studies om de haalbaarheid van deze wijzigingen te bevestigen.

In Tihange 2 kregen drie uitrustingsstukken de classificatie Laag. Zoals met Tihange 1 worden mogelijke verbeteringen geëvalueerd op basis van geval per geval. Gedetailleerde analyse van elk geval zal het mogelijk maken te beoordelen welke verbetering best kan worden toegepast indien nodig.

Over het algemeen vertonen deze resultaten geen betekenisvol risico op falen van een uitrusting. In feite vormen de voor verbetering vatbare punten gedetecteerd in de drie eenheden geen bijzondere moeilijkheid. In de meeste gevallen lijken deze verbeteringen gemakkelijk en zijn niet noodzakelijk onmisbaar uit veiligheidsoogpunt, maar zullen ze worden uitgevoerd om de installatie conform deze resultaten te maken.

Samenvattend, de uitgevoerde SMR bracht geen gebreken aan het licht die de veiligheid van de installaties in gevaar brengt. De binnen het kader van deze studie waargenomen marges tonen het vermogen van de kerncentrale van Tihange aan om te weerstaan aan een krachtige aardbeving.

Kerncentrale Doel

In Doel 1& 2 is er slechts één component met een classificatie 'Laag' (L). Deze component zal tijdens de stilstand in november 2011 aangepast worden.

De loopbrug naar de GNS van Doel 1/2 is momenteel nog altijd een zwak punt. Er zal een instructie voor de operatoren aan de bestaande procedures worden toegevoegd. Wanneer de bedrijfsploegen zich van de hoofdcontrolezaal naar de noodcontrolezaal in het GNS wil begeven, zal de groep zich moeten opsplitsen en beide parallelle toegangswegen volgen. Op die manier geraakt een minimum aan personeel snel ter plaatse om vanuit de noodcontrolezaal de bediening van de centrale te hervatten.

Voor de RWST-reservoirs en hun pijpleidingen van Doel 1/2 zal ook een controle worden uitgevoerd om te bepalen of deze voldoen aan het RLE-niveau. Aangezien deze uitrustingen het behoud van de veilige stilstand kunnen vergemakkelijken, zullen ze indien nodig, bij wijze van 'defence in depth', aangepast worden zodat ze weerstaan aan de RLE.

In Doel 3&4 is er slechts één component met een classificatie 'Laag' (L). Deze component zal op korte termijn aangepast worden.

Samenvattend, de uitgevoerde SMR bracht geen gebreken aan het licht die de veiligheid van de installaties in gevaar brengt. Alle eenheden zijn bestand tegen de RLE, een aardbeving die bewust hoger is ingeschat dan de ontwerpaardbeving.

2.2.2. Aardbevingsbereik leidend tot verlies van integriteit van het containment

2.2.2.1. Inleiding

Er werd een analyse gemaakt van het seismisch gedrag van het containment en penetraties van de eenheden in Doel en Tihange voor de RLE. Deze is geanalyseerd volgens een "expertbeoordeling"-aanpak (engineering judgment), gebaseerd op de EPRI-NP-6041.

Kerncentrale Tihange

Primaire (interne) containments van Tihange 1, 2 en 3
Het primaire containment bestaat uit een versterkte spanbetonstructuur die bescherming tegen interne ongevallen biedt. Het heeft de vorm van een cilinder met daarop een halfronde koepel en is bekleed (aan de binnenzijde) met een stalen liner die lekdichtheid biedt. De primaire containments omvatten dikke versterkte platen om de druk te weerstaan die voortvloeit uit ongevalhypotheses waarmee rekening werd gehouden in hun ontwerpbasissen, waardoor ze inherent aardbevingsbestendig zijn. Structureel komen deze containments overeen met de beschrijvingen van containments geanalyseerd in bijlage A van document NP-6041, wat hen in termen van PGA een HCLPF-waarde (High Confidence of Low Probability of Failure) oplevert die ruim boven 0,3 g ligt.

Secundaire (externe) containment van Tihange 1, 2 en 3
Het secundaire containment is een versterkte betonstructuur die het primaire containment omringt en die bescherming biedt voor deze laatste tegen ongevallen van buitenaf. Net zoals het primaire containment beschikt het over een grote aardbevingsbestendigheid van meer dan 0,3 g in termen van PGA.

Funderingen
De twee containments zijn gebaseerd op een algemene gemeenschappelijke basis diep verankerd in de heel stevige bodem (gewijzigde schistlagen). Deze fundering vertoont geen specifieke seismische kwetsbaarheid; deze is ruimschoots in staat seismische actie door te geven aan de onderliggende bodem tijdens aardbevingen van maximaal 0,3 g in termen van PGA.

Gedrag van mechanische penetraties
Het gedrag van penetraties hangt af van de inertiekracht en de differentiële verplaatsing.
Aangezien de containments van de aangrenzende nucleaire gebouwen worden gekenmerkt door grote stijfheid, is hun verplaatsing ook gering en grotendeels gelijklopend met de verplaatsing van deze penetraties. Dit heeft vooral te maken met de aanwezigheid van expansiebochten. Het feit dat de structuren zo robuust ontworpen zijn, onder andere om bestand te zijn tegen onverwachte drukbelastingen, geeft ze inzake inertiekrachten een aardbevingsweerstand van meer dan 0,3 g in termen van PGA in overeenstemming met document NP-6041.

Kerncentrale Doel

<u>Doel 1/2</u>

Primaire (interne) containment en fundering
Het primair containment bestaat uit een stalen bol die rust op het betonnen voetstuk van de interne structuren. De bol vangt de primaire druk en de seismische belasting op. De stalen bol, die zelf weinig belast is, wordt gekenmerkt door een gunstige verhouding tussen stijfheid en massa, wat maakt dat hij bestand is tegen een krachtiger aardbeving dan de referentieaardbeving (DBE).

De meest belaste zone van de bol bevindt zich ter hoogte van de lassen aan het personeelssas. Die lassen zijn enorm verstevigd. De betonnen vloerplaat die de stalen bol ondersteunt rust op funderingspalen waarvan de weerstand berekend is op een aardbeving met een PGA van 0,17 g.
Dit alles maakt dat er geen enkel instabiliteitsrisico bestaat voor het primair containment bij een aardbeving van 0,17 g.

Secundair (buitenste) containment
Het secundaire containment bestaat uit een cilindervorm in gewapend beton waarop een halfronde koepel rust, eveneens in gewapend beton. Dit geheel omhult het primaire containment, dat daardoor beveiligd is tegen externe ongevallen.
Het secundaire containment vertoont geen specifieke kwetsbaarheid, zelfs niet in geval van aardbevingen van meer dan 0,17 g.

Gedrag van mechanische penetraties
Het gedrag van penetraties hangt af van de inertiekracht en de differentiële verplaatsing.
Aangezien het primaire en secundaire containment losstaande gehelen zijn, kan het niet de bedoeling zijn dat de penetraties tussen beide een vaste, onbeweeglijke verbinding vormen. De penetraties zijn weliswaar vastgemaakt aan de stalen bol (primair containment), maar hun tweede steun is wel een flexibele ophanging.
De integriteit van de penetraties blijft te allen tijde bewaard. Ze is berekend op een RLE van 0,17 g.

Doel 3&4
Primair (interne) containment
Het primaire containment van Doel 3&4 bestaat uit een structuur in gewapend spanbeton die de primaire druk en de seismische belasting opvangt. Dit cilindervormige containment met halfronde koepel is bekleed met een 'liner' in staal die de lekdichtheid verzekert.
Structureel komen deze containments overeen met de beschrijvingen van containments geanalyseerd in bijlage A van document NP-6041, wat hen in termen van PGA een HCLPF-waarde (High Confidence of Low Probability of Failure) oplevert die ruim boven 0,3 g ligt.

Secundair (buitenste) containment
Het secundaire containment van Doel 3&4 bestaat eveneens uit een structuur in gewapend voorgespannen beton, die rond het primaire containment loopt en zo het primaire containment beschermt tegen externe ongevallen: een vliegtuigcrash, tornado, externe explosie, … Net zoals het primaire containment is ook het secundaire containment bijzonder goed bestand tegen aardbevingen, in elk geval boven de RLE van 0,17 g die voor Doel werd geselecteerd.

Fundering
Het primaire en secundaire containment rusten op een gezamenlijke vloerplaat die wordt ondersteund door een netwerk van funderingspalen. De funderingspalen van de containments in Doel 3&4 vormen geen enkel probleem in geval van een aardbeving van 0,17 g.

Gedrag van mechanische penetraties
Het gedrag van penetraties hangt af van de inertiekracht en de differentiële verplaatsing.
Aangezien de containments van de aangrenzende nucleaire gebouwen worden gekenmerkt door grote stijfheid, is hun verplaatsing ook gering en grotendeels gelijklopend met de verplaatsing van deze penetraties. Dit heeft vooral te maken met de aanwezigheid van expansiebochten. Het feit dat de structuren zo robuust ontworpen zijn, onder andere om bestand te zijn tegen onverwachte drukbelastingen, geeft ze inzake inertiekrachten een aardbevingsweerstand van meer dan 0,3 g in termen van PGA in overeenstemming met document NP-6041.

2.2.2.2. Conclusie

Kerncentrale Tihange
Vanuit structureel oogpunt komt de situatie van de containments van de drie eenheden in Tihange goed overeen met deze in NP-6041, waarvoor een HCLPF boven 0,3 g is gewaarborgd.

Kerncentrale Doel
Vanuit structureel standpunt komt de staat van de containments van Doel 3&4 goed overeen met die in het document NP-6041, waarvoor een HCLPF-waarde van meer dan 0,3 g wordt gegarandeerd, zij het bij Doel 3&4 met een beperking voor de funderingspalen tot RLE 0,17 g.

Het ontwerp van Doel 1/2 is specifieker. De beoordeling is gebaseerd op de beschikbare documentatie en vermeldt een gunstige conclusie wat betreft de bestendigheid bij een RLE van 0,17 g.

2.2.3. Aardbeving die de ontwerpaardbeving voor de centrales overtreft en bijhorende overstroming die de ontwerpoverstroming overtreft

Kerncentrale Tihange

Overstroming van de Maas
De aardbeving die de voor de site van Tihange in aanmerking genomen DBE overschrijdt komt overeen met de RLE-aardbeving gekenmerkt door een PGA van 0,3 g.
Dergelijke gebeurtenis komt overeen met een epicentrische intensiteit van VIII op de MSK-schaal. Voor de doeleinden van deze studie wordt deze aardbeving beschouwd als plaatsvindend op de limiet van het seismotektonisch continuüm in de buurt van de site, dat is 11 km ten zuiden van de kerncentrale van Tihange, in de loodlijn op de as van de Maas tussen Namen en Luik (KSB-studiehypothese).

Te beginnen vanaf het epicentrum wordt een onderscheid gemaakt tussen:
- Een eerste zone met een straal van 15 km waarin de seismische intensiteit VIII is op de MSK-schaal (de site van Tihange, 11 km van het epicentrum, is bijgevolg gelegen binnen deze zone);
- Een tweede zone, 15 tot 50 km van het epicentrum, waarin de seismische intensiteit VII is op de MSK-schaal;
- Een derde zone, 50 tot 220 km van het epicentrum, waarin de seismische intensiteit VI is op de MSK-schaal.

Gezien de stralen van de verschillende intensiteiten kunnen we hieruit het volgende afleiden:
- in de eerste invloedszone (intensiteit VIII), de site terzijde gelaten, is de enige externe constructie die het peil van de Maas in de buurt van de kerncentrale Tihange kan beïnvloeden de Ampsin-Neuville-dam, die stroomafwaarts is gelegen. Als deze breekt, zal het peil van de Maas dalen tot 64,45 m. Op basis van bestaande kennis en bijkomende studies van de weerstand van deze structuur en de gevolgen van een intensiteit VIII-aardbeving, wordt ervan uitgegaan dat de Ampsin-Neuville-dam in staat zal zijn een aardbeving van deze intensiteit te weerstaan.
- in de tweede invloedszone zijn de constructies buiten de site die het peil van de Maas kunnen beïnvloeden de stroomop- en –afwaarts gelegen dammen. Op basis van bestaande kennis van de weerstand van deze constructies en de gevolgen van een aardbeving met intensiteit VII, wordt ervan uitgegaan dat de dammen geen enkele schade zullen ondervinden die ze kan doen doorbreken. In feite komt intensiteitsniveau VII overeen met lichte beschadiging, met inbegrip aan relatief kwetsbare constructies, wat absoluut niet het geval is voor de structuur van dit type dam.
- in de derde invloedszone (intensiteit VI) worden de structuren niet beïnvloed door een aardbeving met deze intensiteit. Er wordt dan ook geen rekening gehouden met enige impact.

Overstromingsbronnen op de site
De conclusies van paragraaf §2.1.2.3 (Indirecte gevolgen van aardbevingen in aanmerking genomen tijdens het ontwerp: interne of externe overstroming) zijn ook van toepassing op een aardbeving die het ontwerpniveau overschrijdt. In dit geval zijn de getroffen componenten dezelfde als deze geïdentificeerd als gevoelig voor de DBE. Paradoxaal genoeg zullen de gevolgen wellicht veel minder ernstig zijn: aangezien de stroomvoorziening van buitenaf als verloren wordt beschouwd, zullen de CEC-pompen wellicht gestopt zijn. De resterende uitrusting zal een doeltreffende koeling van onbeperkte duur verschaffen en bijgevolg de reactor uitschakelen op een stabiele en gecontroleerde wijze.

Samenvattend zal een aardbeving van boven de DBE op de site van Tihange geen overstroming veroorzaken die de ontwerplimieten van de installatie overschrijdt. Daarom is geen wijziging van materiaal, procedures of organisatie vereist.

Kerncentrale Doel

Een tsunami van 0,5 m is een theoretische mogelijkheid in het Schelde-estuarium. Maar zelfs indien een aardbeving deze maximale tsunami veroorzaakt en tegelijk de Scheldedijk vernietigt, dan nog wordt het (verhoogde) platform van de kerncentrale Doel niet overstroomd.

De site in Doel is gelegen aan het Schelde-estuarium. Een tsunami (vloedgolf) en seiche (golf die optreedt door resonantie in halfgesloten waterbekkens) zijn fenomenen die mogelijk door een aardbeving op gang worden gebracht.

Tsunami en seiche

Als mogelijke oorzaak van een tsunami in Europa worden aardbevingen en onderzeese aardverschuivingen genoemd. Slechts op een beperkt aantal plaatsen zijn daartoe wel degelijk de geologische voorwaarden aanwezig. Aan de hand van modelruns is bijvoorbeeld nagegaan welke de mogelijke effecten van een tsunami kunnen zijn voor de Britse kusten. De ergste gevolgen lijken zich voor te doen voor de kusten van Cornwall – vloedgolf 0,5 tot 2 m hoog. De kans op een effectieve tsunami wordt heel wat kleiner geacht: orde 10^{-2} tot 10^{-4} per jaar. Gezien de afstand tussen Cornwall en het Schelde-estuarium en de beschutting door de West-Normandische kustlijn tonen de modellen aan dat de vloedgolf in belangrijke mate wordt gedempt naar het Schelde-estuarium: de amplitude zou niet groter zijn dan 0,5 m.

Als gevolg van de complexe geometrie is het theoretisch onwaarschijnlijk dat seiches zouden optreden op de Schelde. Indien het fenomeen zich toch zou voordoen, blijft de amplitude beperkt tot een tiental centimeter, en een seiche gaat heel snel liggen.

Een aardbeving kan de integriteit van de Scheldedijk mogelijk in gevaar brengen. Ter hoogte van Doel ligt het waterpeil van de Schelde echter ruimschoots onder de hoogte van het platform van de site. Zelfs indien een aardbeving de maximale tsunami (vloedgolf) van 0,5 m veroorzaakt en tegelijk de Scheldedijk vernietigt, dan nog wordt het platform van de site niet overstroomd. In de rand merken we op dat een dergelijke tsunami zich alleen op grote afstand van Doel kan afspelen, waardoor het bezwijken van de Scheldedijk ten gevolge van de aardbeving bijzonder weinig waarschijnlijk is.

Overstromingsbronnen op de site

In de periodieke veiligheidsherziening werd een lijst opgemaakt van betekenisvolle potentiële overstromingsbronnen op de site. De lijst werd verder aangevuld met een selectie op basis van de ontwerpaardbeving. De volgende potentiële overstromingsbronnen werden geïdentificeerd:

- koeltorenbakken Doel 3&4,
- schottenlocaties – schotten op de koelwaterleidingen (CW) die in contact staan met de buitenlucht (opening op +11,08 m TAW),
- koelwaterleidingen (CW) met gedeelten onder en boven de grond,
- opslagtanks waarvan een aantal niet seismisch ontworpen.

In geval van een ernstige aardbeving kunnen al deze overstromingsbronnen bijdragen tot de overstroming op de site.
In eerste instantie is er de onmiddellijke breuk van de verschillende opslagtanks. De vier belangrijkste tankclusters kunnen elk enkele duizenden m³ water lozen, samen bijna 13.000m³.
In tweede instantie ontstaat een groot waterdebiet afkomstig van de koeltorenbakken, en in mindere mate ook van de koelwaterleidingen en de schottenlocaties. Een lekdebiet van 11 m³/s wordt aangenomen voor elk van de koeltorenbakken van Doel 3&4. De verschillende lekken van de koelwaterleidingen zouden leiden tot een gezamenlijk lekdebiet van ongeveer 10 m³/s verspreid over de site. Dit zou worden aangevuld door een lekdebiet van 0,7 m³/s voor elk van de twee schottenlocaties.

Een analyse van het gelijktijdig falen van meerdere reservoirs en leidingen leidde tot het besluit dat de veilige stilstand hierbij niet in het gedrang zal komen:

- Bij Doel 1/2 bevinden de uitrustingen die na aardbeving nodig zijn voor een veilige stilstand zich in de gebouwen RGB, BAR, GNS en GNH. Ter hoogte van BAR, GNS en GNH is insijpeling van een beperkte hoeveelheid water in de gebouwen mogelijk. In de BAR is er geen kelder en bevinden alle belangrijke uitrustingen zich op een sokkel, zodat hun werking niet in het gedrang komt. De toegangen tot het GNS liggen zelf op ongeveer 0,8 m boven de grond, zodat waterinsijpeling uitgesloten is of in het slechtste geval zeer beperkt zal zijn. GNH en GNS beschikken beide over veiligheidsgebonden dompelpompen met voeding uit het GNS. Hierdoor is het mogelijk de beperkte hoeveelheid water die er kan binnendringen, weg te pompen.
- Bij Doel 3&4 kunnen GVD en MAZ overstromen, maar behoudens de AF-pompen die zich achter waterdichte deuren bevinden, zijn er hier geen veiligheidsuitrustingen. In de reactorgebouwen is geen waterinsijpeling mogelijk. Alle andere gebouwen die veiligheidsuitrustingen bevatten, kunnen een zeer beperkte wateroverlast ondervinden. De bunkers zijn evenwel voorzien van veiligheidsgebonden dompelpompen, zodat een veilige stop steeds mogelijk is met de uitrustingen van de bunker.

2.3. Samenvatting van de belangrijkste door de exploitant voorgestelde resultaten

Gebaseerd op de informatie in de stresstestverslagen van de exploitant en de bijkomende informatie die door de exploitant werd verstrekt tijdens de technische vergaderingen en on-site inspecties, zijn de belangrijkste resultaten voor het onderwerp "aardbeving" de volgende:

In de jaren '70 werd er bij het oorspronkelijk ontwerp van de twee eerste eenheden, met name Doel 1/2, eerst geen rekening gehouden met het risico op een aardbeving. Voor de andere eenheden werden er verschillende piek-grondversnellingen (PGA) voor een veilige stilstand bij een aardbeving gebruikt: 0,10 g voor Tihange 1, Doel 3 en Doel 4; 0,17 g voor Tihange 2 en Tihange 3. De PGA zijn de belangrijkste gegevens voor de karakterisatie van het seismisch niveau waarvoor de seismisch gekwalificeerde structuren, systemen en componenten (SSC) zijn ontworpen om hun integriteit te behouden en functioneel te blijven.
Na de eerste periodieke veiligheidsherziening werd een PGA-niveau van 0,058 g vastgelegd voor Doel 1/2 en het initiële PGA-niveau van 0,1 g werd verhoogd tot 0,17 g voor Tihange 1.
De methodologie die gebruikt werd om de PGA te bepalen, is gebaseerd op een studie van het seismisch risico. Er werden deterministische benaderingen gebruikt, gebaseerd op historische gegevens en gekende seismische breuklijnen.

In april 2011 gelastte de exploitant de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB) om een nieuwe studie uit te voeren om zo de geldigheid en adequaatheid te herevalueren van het referentieaardbevingsniveau in Doel en Tihange, rekening gehouden met de recente ontwikkelingen in de evaluatie van het aardbevingsrisico, zoals het gebruik van de probabilistische methode. De KSB maakte een probabilistische seismische risicoanalyse (PSHA) voor beide sites, uitgaande van verschillende veronderstellingen met betrekking tot het optreden van aardbevingen in de betreffende regio en de afzwakkingswetten van de lokale ondergrond. Gezien er verschillende onzekerheden zijn, werd er een logische boomstructuur opgesteld waarmee de verschillende hypotheses en wetten gecombineerd werden. Vervolgens werd er met een statistische bewerking een overeenstemmende PGA bekomen met een bepaalde terugkeerperiode en met de gemiddelden of percentielen van het overschrijdingsfrequentie. Daarenboven werd er een sensitiviteitsanalyse van de verschillende gemaakte keuzes doorgevoerd. Dit alles resulteerde in nieuwe waarden voor de PGA op elke site, d.i. 0,081 g voor Doel en 0,23 g voor Tihange.

Op basis van de resultaten van deze studie kon de evaluatie van de seismische robuustheid van de zeven eenheden van start gaan. De exploitant koos voor een seismische margin review (SMR) om deze taak uit te voeren. De SMR-methodologie is gebaseerd op de evaluatie van de seismische marge (SMA) die wordt beschreven in de EPRI-publicatie NP-6041. De verschillen zijn dat de SMR niet zoekt naar de seismische robuustheid van de SSC maar eerder kijkt naar de waarschijnlijkheid van de SSC om bestand te zijn tegen een bepaald ´review level earthquake´ spectrum ("RLE") waarvoor het PGA-niveau 0,17 g in Doel en 0,3 g in Tihange bedraagt. Dit is een conservatieve benadering omdat dit RLE-spectrum de spectra omvat die bepaald werden door de KSB-studie.

De exploitant evalueerde de seismische kwetsbaarheid van de SSC op een schaal "hoog", "medium" of "laag" in overeenstemming met de waarschijnlijkheid dat de SSC hun veiligheidsfunctie kunnen blijven vervullen. De exploitant gelastte de Amerikaanse deskundigenorganisatie Simpson, Gumpertz & Heger ("SGH") om on-site inspecties ("walkdowns") uit te voeren overeenkomstig deze SMR-methodologie. Verschillende teams werden opgesteld voor verschillende eenheden, er werd tevens een extra team gevormd voor een onafhankelijke review. De walkdowns richtten zich op de seismische robuustheid van de SSC, de adequate verankering ervan, de montering van de interne instrumenten en de mogelijke ruimtelijke interacties. Deze criteria verschillen afhankelijk van de te evalueren SSC.
De exploitant heeft het voorbereidend werk uitgevoerd door een lijst op te stellen van alle SSC die dienden te worden gecontroleerd. SGH-teams keken deze lijst na waarin de identificatienummers, beschrijving en locaties in de gebouwen vermeld stonden.

De uitgevoerde walkdowns hebben geleid tot de conclusie dat:

- Voor de drie oudste eenheden er weinig SSC geïdentificeerd werden als behorende tot de categorie "laag",
- Voor de vier meest recente eenheden de SSC buiten het reactorgebouw gemakkelijk de RLE kunnen overleven,
- Er zich geen cliff-edge effecten i.v.m. een seismische gebeurtenis kunnen voordoen.

Er worden door de exploitant corrigerende acties gepland om de geïdentificeerde zwakheden op te lossen van de SSC in de categorie "laag". Er zullen volgend jaar tijdens een geplande reactorstop walkdowns worden georganiseerd m.b.t. de SSC in de reactorgebouwen van de vier meest recente eenheden.

2.4. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit

De gekozen aanpak voor de update van het seismische risico en de evaluatie van de seismische robuustheid van de zeven eenheden beantwoordt aan de door de exploitant bepaalde en door de veiligheidsautoriteit goedgekeurde methodologie.

De veiligheidsautoriteit heeft een specifieke follow-up uitgevoerd van alle stappen die door de exploitant werden ondernomen m.b.t. de seismische herevaluatie. Na onderzoek van de verslagen van de exploitant, de PSHA-studie van de KSB en de seismische walkdownverslagen van SGH, werden technische vergaderingen en on-site inspecties georganiseerd.

Gebaseerd op de evaluatie van de verslagen van de exploitant en de bijbehorende documenten, de daaropvolgende technische vergaderingen en on-site inspecties, is de veiligheidsautoriteit van oordeel dat het actieplan dat resulteert uit deze seismische herevaluatie adequaat is.

De veiligheidsautoriteit identificeerde evenwel bijkomende vereisten en aanbevelingen om de robuustheid van de eenheden verder te verbeteren tegen het risico op een aardbeving:

1. Voor alle zwakheden die geïdentificeerd werden tijdens de walkdowns (SSC beoordeeld met "lage" waarschijnlijkheidsgraad om hun integriteit te behouden en hun functie te kunnen uitvoeren tijdens een aardbeving die ernstiger is dan de RLE), heeft de exploitant gemeld dat er ofwel bijkomende onderzoeken zullen worden uitgevoerd of dat er eenvoudige wijzigingen kunnen worden doorgevoerd. De exploitant moet een gedetailleerd actieplan voorzien met reeds ondernomen en nog geplande acties. Dit is tevens van toepassing op de haalbaarheidsstudies m.b.t. de versterking van het BAE-gebouw in Tihange 1.

2. Door het krappe tijdsbestek van de Europese stresstests, diende het PSHA-onderzoek van de KSB in korte tijd te worden uitgevoerd. Zoals voorgesteld door de KSB, zou de exploitant een meer gedetailleerd onderzoek moeten uitvoeren in de komende jaren met de gepaste aandacht voor (1) andere elementen, zoals het gebruik van een meer recente vergelijkingen voor de voorspelling van de grondbeweging, of zoals een "cumulative absolute velocity" (CAV) filtering, (2) externe reviews door internationale deskundigen en (3) resultaten die voortvloeien uit andere studies zoals het EG-project SHARE ("seismic hazard harmonization in Europe").

3. De exploitant moet zijn inspanningen verder zetten om de kennis m.b.t. mogelijke seismische interacties in de installaties verder te cultiveren. In het bijzonder moet er nauwkeurig aandacht worden besteed aan de strikte toepassing van de relevante procedures om de onderlinge interacties van stellingen met SSC die seismisch gekwalificeerd zijn, te vermijden.

3. Overstroming

Om een op zichzelf staand nationaal rapport te hebben voor de voorziene peer review wordt eerst de door de exploitant in zijn weerstandstestsverslag verstrekte relevante informatie in herinnering gebracht.
Aan het einde van dit hoofdstuk worden in een laatste paragraaf de conclusies en de evaluatie van de Belgische veiligheidsautoriteit vermeld (FANC en Bel V).

3.1. Ontwerpbasis

3.1.1. Overstroming waartegen de centrales bestand zijn

3.1.1.1. Kenmerken van de ontwerpoverstroming (DBF)

Kerncentrale Tihange

De drie eenheden van de kerncentrale Tihange, die op hetzelfde platform gelegen zijn op 71,5 meter boven de zeespiegel, delen dezelfde basisontwerpbescherming tegen overstroming. De potentiële, tijdens het ontwerp geïdentificeerde, overstromingsbronnen van de site zijn:

- Hoogwaterfenomenen in het bassin dat van de Maas komt;
- Dambreuk in Andenne-Seille stroomopwaarts van de site van Tihange;
- Slecht functioneren van de stroomafwaartse dam in Ampsin-Neuville.

De ontwerpanalyse hield rekening met de situaties die de grootste beperkingen inhouden, maar blijft toch realistisch. Zo werd de combinatie van belangrijk hoogwater en een dambres in Andenne-Seille niet weerhouden aangezien, in geval van hoogwater, de sluisdeuren van de dammen wijd open zijn om zoveel mogelijk water te evacueren (de hydrodynamische belasting is dus lager en brengt de dam niet in gevaar).

De "referentieoverstroming" waartegen de site van Tihange is beschermd, komt overeen met het hoogste historisch geregistreerde overstromingsniveau van de Maas (in 1995), verhoogd met 20 %. Voor deze referentieoverstroming bereikt de rivier een debiet van 2615 m³/s, tegenover een normaal gemiddeld debiet van 300 m³/s in de winter en 50 m³/s in de zomer. In deze situatie bereikt de Maas een waterstand van 71,30 meter (met inbegrip van een foutmarge van 0,1 m) boven de zeespiegel. In normale situaties wordt een gemiddelde waterstand van 69,25 meter gemeten (gereglementeerd peil om scheepvaart mogelijk te maken).

Kerncentrale Doel

De ontwerpoverstroming (DBF), de referentieoverstroming waarmee rekening werd gehouden in het originele ontwerp van Doel 1/2 en Doel 3 en Doel 4, staat beschreven in het veiligheidsanalyserapport. Belangrijke referenties voor de DBF zijn de historische gegevens over de hoogste waterstanden door getijden of stormvloeden.

- De hoogste ooit geregistreerde waterstand (1 februari 1953) was + 8,10 m TAW[5].
- Het gemiddelde hooggetijde is +5,08 m TAW.
- Het rapport van de DELTA-commissie geeft voor de engte van Bath (ten noorden van Doel) een waarschijnlijkheid van voorkomen eens per 10.000 jaar aan voor getijden met een hoogte van +9,13 m TAW. Deze om de 10.000 jaar terugkerende overstroming werd als ontwerpoverstroming (DBF) gebruikt.

[5] TAW: Tweede Algemene Waterpassing. TAW is de referentiehoogte die in België wordt gebruikt voor topologische hoogtemetingen. Een TAW-hoogte van 0 meter is gelijk aan de gemiddelde zeespiegel bij eb in Oostende)

3.1.1.2. Methodologie om de ontwerpoverstroming te evalueren.

Kerncentrale Tihange

De oorspronkelijke ontwerpoverstroming voor de kerncentrale Tihange werd bepaald op basis van de praktijk die indertijd in de weg- en waterbouwkunde werd gebruikt voor het ontwerp van constructies op de Maas. Ze stipuleert: "De dammen en dijken op de Maas in de riviervlakte van Andenne tot Luik zijn bestand tegen een debiet van 2200 m³/s. Dit is het debiet van het hoogwater van 1926 (1862 m³/s) verhoogd met 20 %". De ontwerpoverstroming zou dus overeenkomen met een Maasdebiet van 2200 m³/s, en een stijging van de waterstand tot 69,80 m.

Na de belangrijke overstromingen van 1993 en 1995 in de Maasvallei (maximaal debiet van 2179 m³/s), zijn de overstromingsstatistieken herzien als onderdeel van de periodieke veiligheidsherziening. De "referentieoverstroming" voor de site van Tihange werd opnieuw geëvalueerd met de oorspronkelijke methodologie Ze komt momenteel overeen met het hoogste historisch geregistreerde overstromingsniveau van de Maas (in 1995), verhoogd met 20 %. Het debiet van de rivier voor deze referentieoverstroming bereikt 2615 m³/s en de waterstand bereikt 71,30 meter.

De kerncentrale van Tihange is beschermd tegen deze referentieoverstroming door de hoogte van het platform waarop ze is gebouwd en door de hoogte van haar perifere bescherming. De eenheden blijven droog en werken normaal. Uit voorzorg wordt in een dergelijke situatie de site echter onder een toestand van verhoogde waakzaamheid geplaatst.

Kerncentrale Doel

Tijdens de periodieke veiligheidsherzieningen werd de ontwerpoverstroming (DBF) geëvalueerd. De DBF werd opnieuw geëvalueerd op basis van de recentste gegevens (bv. meteorologische gegevens, berekeningsmodellen, nucleaire reglementeringen). De kerncentrale van Doel is gelegen aan het Schelde-estuarium. De verschillende mogelijke oorzaken voor overstroming van een site gelegen aan een estuarium werden geëvalueerd. De basisbelastingen die in de studies van de periodieke veiligheidsherziening weerhouden en gecombineerd werden, zijn:

- Stormopzet uit de Noordzee en het astronomische getij;
- Bijkomende windopzet bij stormvloed tussen Vlissingen en Doel;
- Windgolven, golfoploop en golfoverslag.

De hoogste ooit geregistreerde waterstand is nog altijd die van 1953. Uit een studie blijkt dat het gemiddelde hoogwaterpeil lichtjes stijgt. Het peil van de om de 10.000 jaar terugkerende overstroming werd bijgesteld tot (gemiddeld) + 9,35 m TAW dichtbij de site.

3.1.1.3. Adequaatheid van DBF

Kerncentrale Tihange

De ontwerpstudies voor de site hielden rekening met een mogelijke bres in de stroomopwaartse dam in Andenne-Seille. De eruit voortvloeiende golf werd vergeleken met de referentieoverstroming van de Maas. Dambreuk stroomopwaarts van de site zal geen gevolgen hebben op de werking van de eenheden op de site van Tihange, omdat de watergolf voldoende afgenomen is en onder het niveau van de dijk blijft.

Bovendien heeft de universiteit van Luik, in het kader van de recentste periodieke veiligheidsherziening (2005), de impact van een bres in de dam in Andenne-Seille opnieuw geëvalueerd. In de veronderstelling dat een bres ontstaat buiten de hoogwaterperiode terwijl de Maas haar gemiddelde peil heeft en uitgaande van de obstructie van de stroomafwaartse dam, dan zal volgens de berekeningen van deze nieuwe studie de golf 36 minuten na het ontstaan van de bres Tihange bereiken en zal de golfkam een niveau van 70,64 meter bereiken. Dit blijft lager dan het niveau van de referentieoverstroming.

De ontwerpstudies wezen ook de risico's af van overstroming van de site van Tihange door slecht functioneren van de stroomafwaarts gelegen dam in Ampsin-Neuville. Door slecht functioneren van de dam stroomafwaarts van de site kan de site niet overstromen, aangezien de dam een elektrische noodvoeding heeft en alle debietregelaars zonder elektrische voeding kunnen worden bediend.

Geen van de beschermingsconstructies tegen overstromingen op de site, hetzij de gemetste rivierdijken of de wanden van de wateraanvoerkanalen bevinden zich onder een niveau van 71,35 m. Daarom is de site nu beschermd:

- tegen de referentieoverstroming gekenmerkt door een waterstand van 71,30 m (stijgingen door het rioleringsnet en de foutmarge inbegrepen);
- tegen een bres in de stroomopwaartse dam in Andenne-Seille in combinatie met een obstructie van de stroomafwaartse dam, waarbij de overstromingsgolf een waterstand lager dan de referentieoverstroming zou veroorzaken.

Anderzijds heeft de evolutie van de nucleaire reglementering in de laatste periodieke veiligheidsherziening, geleid tot het gebruik van een nieuwe probabilistische methodologie om het overstromingspeil van de Maas te bepalen. Een van de conclusies is dat de site van Tihange door zijn ontwerp momenteel beschermd is tegen een referentieoverstroming met een theoretische terugkeerperiode die in eeuwen kan worden geteld (tussen 100 en 1000 jaar). Ter hoogte van de site werd het peil van de Maas bepaald tot een overstroming met een terugkeerperiode van 10.000 jaar (tienduizendjaarlijkse overstroming). Deze tienduizendjaarlijkse overstroming werd bepaald als de duizendjaarlijkse overstroming (met een betrouwbaarheidsinterval van 70 %) plus 15 %. Het overeenkomstige debiet is 3488 m³/s. Geen enkele bekende historische bron vermeldt hoogwater van die omvang. Opgemerkt dient te worden dat dergelijk niveau alleen kan worden bereikt onder uitzonderlijke, gecombineerde omstandigheden van snel smeltende sneeuw en een lange periode van hevige regen. Dit extreme fenomeen kan ook worden voorspeld.
Desondanks werd beslist om deze tienduizendjaarlijkse overstroming aan te nemen als de nieuwe ontwerpbasis voor de kerncentrale Tihange, conform de internationale standaarden. Daarom werd de versterking van de verdedigingslijnen bestudeerd en sommige geplande wijzigingen zijn reeds doorgevoerd.

Kerncentrale Doel
De periodieke veiligheidsherziening concludeerde dat op de site van Doel de bescherming tegen externe overstroming nog altijd afdoend is. Het peil van de om de 10.000 jaar terugkerende overstroming (+ 9,35 m TAW) blijft in Doel substantieel onder de minimale dijkhoogte (+ 11,08 m TAW).

3.1.2. Voorzieningen om de centrales te beschermen tegen de ontwerpoverstroming

3.1.2.1. Bescherming van de site

Kerncentrale Tihange
De kerncentrale Tihange bevindt zich op de rechteroever van de Maas, op een horizontaal platform 71,5 meter boven de zeespiegel, of twee meter boven het gereguleerde peil van de rivier.

De site van Tihange is beschermd door de hoogte van het metselwerk van de rivieroevers en het watervangkanaal. Het watervangkanaal is aan de kant van de site beschermd door muren met bovenaan een stortmuur uit seismisch verankerde betonblokken. De oevers van het watervangkanaal zijn verder verhoogd om de referentieoverstroming te kunnen opvangen. Er hoeven geen mobiele toestellen te worden geïnstalleerd voor zijn bescherming. Deze bescherming is permanent bedrijfsklaar en vereist geen menselijke tussenkomst.

De Maasvlakte is stroomopwaarts begrensd door Andenne-Seille en stroomafwaarts door de dam van Ampsin-Neuville. De site is toegankelijk via de autoweg Luik-Hoei, die zijn zuidelijke grens vormt (de

Maas de noordelijke grens), of via de secundaire wegen Hoei-Hamoir en Luik-Dinant. Het volledige netwerk bevindt zich op een hoogte die gelijk of hoger is dan die van de site van Tihange en heeft een voldoende aantal wegen boven de overstromingsvlakte (met inbegrip van maximaal hoogwater) om de toegang tot de site mogelijk te maken (zie figuur 10).

De rode zone op figuur 10 omvat geen veiligheidsuitrustingen of -gebouwen. De oranje zone omvat bijna alle veiligheidsgebouwen. In deze zone bevinden de toegangen zich op een hoogte van 71,5 m, of gemiddeld 20 cm boven de grond. De groene zone bevindt zich veel hoger (gemiddeld 2 meter) dan de rest van de site.

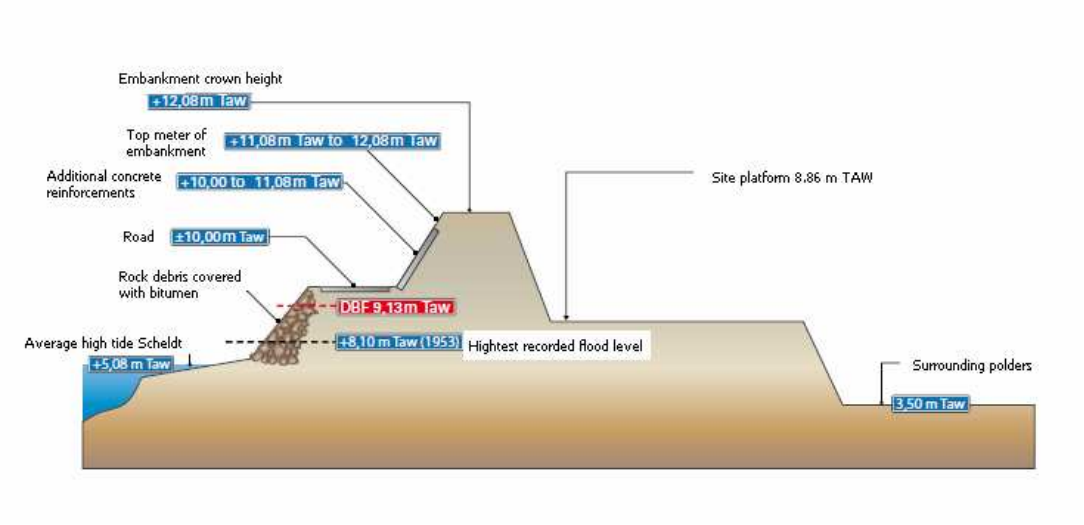


Figuur 10: De verschillende altimetrische zones van de site van Tihange

Kerncentrale Doel

Om het overstromingsrisico tot een minimum te beperken werd bij het ontwerp van de site met twee belangrijke maatregelen rekening gehouden: ten eerste bevindt de volledige site, met inbegrip van alle nucleaire installaties, zich op een verhoogd platform en ten tweede is de Scheldedijk, die een barrière vormt voor de site, ook verhoogd. De bescherming tegen de DBF wordt gevormd door de keuze van de hoogte van het platform waarop de hele site zich bevindt, in combinatie met de hoogte van de dijken ter hoogte van de site.

- Het platform werd verhoogd tot + 8,86 m TAW. Dit houdt in dat de site van de kerncentrale omgeven is door lagerliggende polders.
- De dijken langs de site zijn verhoogd tot + 12,08 m TAW, tegenover + 11,08 m TAW van de Scheldedijken in de omgeving. Er werd rekening gehouden met een verzakking van de dijken na verloop van tijd. De technische specificaties van de kerncentrale Doel vereisen een. minimale dijkkruinhoogte van + 11,08 m TAW.



Figuur 11: Ontwerpvoorzieningen tegen DBF in de kerncentrale Doel (doorsnede van de dijk)

3.1.2.2. Systemen, structuren en componenten

Kerncentrale Tihange

Het doel van de bescherming tegen de referentieoverstroming is de site droog te houden. Dit betekent dus dat bij hoogwater lager of gelijk aan de referentieoverstroming de uitrustingen op de site niet worden getroffen. Alle systemen, structuren en componenten die nodig zijn om een stabiele en gecontroleerde stilstand te bewerkstelligen van de eenheden blijven beschikbaar.

De uitrusting van de pompstations die zorgen voor de inlaat van onbehandeld water uit en lozingen in de Maas bevinden zich op dergelijke hoogte dat er geen overstromingsgevaar is bij een referentieoverstroming.

Kerncentrale Doel

Het platform van de watervang Doel 1/2, gelegen in de Schelde, bevindt zich op ongeveer hetzelfde niveau als de site. Het eventuele wegvallen van de primaire koudebron (de Schelde) in geval van DBF wordt opgevangen door een alternatieve koudebron (ruw-waterkring (RW)), die zich op de site binnen de bescherming van de dijk bevindt. Het pompstation van de watervang van Doel 3 en 4 wordt beschermd door de dijk.

In geval van de DBF kan alleen het circulatiewatercircuit (CW) van Doel 1/2 onbeschikbaar zijn, niets anders wordt beschadigd.

3.1.2.3. Bijkomende ontwerpvoorzieningen om de infiltratie van grondwater te voorkomen

Kerncentrale Tihange

Tijdens de constructie van de installaties werden beschermingsmaatregelen genomen tegen het risico van grondwaterdoorsijpeling.
Het niveau van de grondwaterspiegel is gemiddeld 67,5 m, of ongeveer twee meter onder het gereglementeerde niveau van de Maas (69,25 m). De lage doordringbaarheid van de aangeslibde afzettingen langs de Maas voorkomt dat schommelingen in het rivierpeil onmiddellijk aan de grondwaterspiegel worden doorgegeven. Gezien dit vertraagde effect kan een substantiële stijging van de grondwaterspiegel worden uitgesloten, zelfs na een periode van hoogwater. De site zelf is ook beschermd tegen snelle doorsijpelingen door een oppervlaktelaag van slib en de bedekking van zijn terrein met asfalt.

In Tihange 1 werden voor de gedeelten van de gebouwen die zich onder de grond bevinden, en voor de vloer, de buitenmuren volledig met een bitumineuze laag bekleed om de dichtheid te verbeteren. In Tihange 2 en 3 werd, in alle categorie 1 seismische gebouwen en constructies, met uitzondering van het pompstation, een "butylachtig" membraan geplaatst op alle oppervlakken die in contact komen met de grond. Dit waterdichte membraan bedekt alle muren in de ondergrond. Daarom is de grondwaterdichtheid van alle gebouwen gewaarborgd.

Het waterspiegelniveau wordt regelmatig gemeten zodat zijn (langzame) evolutie kan worden gevolgd. Alle verzonken veiligheidsgebouwen zijn voorzien van draineerputten met dompelpompen, die tijdens dagelijkse ronden worden geïnspecteerd.

Kerncentrale Doel

De volgende maatregelen zijn genomen ter bescherming van de ondergrondse structuren van de gebouwen van Doel 1/2 en Doel 3 en 4:

- In de berekeningen werd rekening gehouden met een grondwaterspiegel van + 7,00 m in Doel.
- De ondergrondse muren zijn vervaardigd uit gewapend waterafstotend beton.
- Het muuroppervlak dat in contact komt met de aarde is ingestreken met een waterdichte laag bestaande uit drie lagen teer. Het metselwerk werd vooraf met een waterdichte cementlaag bekleed.
- De voegen tussen de gebouwen of de verbindingsvoegen van de ondergrondse kanalen zijn uitgevoerd in waterdicht thermoplastisch materiaal.

3.1.2.4. Belangrijkste operationele voorzieningen om de impact van een overstroming op de centrales te voorkomen

Kerncentrale Tihange

Rekening houdend met het huidige ontwerp van de site, dat passief ervoor zorgt dat hij droog blijft bij een referentieoverstroming, zijn geen specifieke acties vereist om de installaties tegen overstroming te beschermen. Uit voorzorg bestaan er evenwel preventieve maatregelen die hieronder worden beschreven.

Wanneer de regionale afdeling voor overstromingsbescherming (Service d'études hydrologiques SETHY) een Maasdebiet voorspelt van meer dan 1500 m³/s, wat ongeveer eenmaal om de twee jaar gebeurt, gaat deze afdeling in alarmtoestand en waarschuwt de site van Tihange (bedrijfsploeg van Tihange 2). De bedrijfsploegen van Tihange 2 moeten dan regelmatig communiceren met SETHY om op de hoogte te blijven van de ontwikkeling van de situatie. Gelijktijdig informeren ze de twee andere eenheden en signaleren de overgang naar een alarmtoestand met betrekking tot het overstromingsrisico. De bedrijfsploegen van elke eenheid ondernemen specifieke acties om de toestand in hun eenheid te controleren zodat overstromingen snel kunnen worden ontdekt.

Kerncentrale Doel

Een proactief overstromingsalarm verhoogt de waakzaamheid van de bedrijfsploegen.
De volgende alarmfasen worden afgekondigd op basis van de informatie verstrekt door de regionale afdeling voor overstromingsbescherming (afdeling 'Waterwegen en Zeekanaal'):

- 'Stormtij Zeescheldebekken': niveau van de Zeeschelde > 6,60 m TAW
- 'Gevaarlijk stormtij in het Zeescheldebekken': niveau van de Zeeschelde > 7,00 m TAW

Overeenkomstig de procedure worden dan een aantal maatregelen genomen. Dit betreft onder andere, reflexhandelingen zoals het sluiten van de toegangen van de watervang van Doel 1/2, controle van de lekdichtheid van de roll-on-roll-offinstallatie aan de dijk en de preventieve plaatsing van zandbakken aan de kritieke gebouwtoegangen.

Voor de acties volgend op de waarschuwing 'gevaarlijk stormtij Zeescheldebekken' wordt voldoende tijd uitgetrokken. Zodra het waterpeil op 7,58 m TAW staat, resten nog 2 uur voordat het water het niveau van het platform van de site bereikt, het water is dan nog altijd ruimschoots onder de dijkkruinhoogte.

3.1.2.5. Andere mogelijke gevolgen van de DBF

Kerncentrale Tihange

Verlies van externe stroomvoorziening

Elke eenheid in Tihange beschikt over interne redundante veiligheidsdiesels, gelegen op het platform van de site en daarom beschermd tegen de referentieoverstroming. Deze interne bronnen volstaan om alle systemen aan te drijven die nodig zijn voor het stabiel en gecontroleerd stilleggen van de eenheden. Hoewel de externe elektrische voeding dit type hoogwater kan weerstaan zonder schade, is rekening gehouden met het scenario van een referentieoverstroming in combinatie met verlies van externe voeding. Dergelijke situatie zou geen impact hebben op de site, die dan zou terugvallen op zijn interne elektrische voeding.

Omstandigheden buiten de site bij risico op overstroming

Bij een referentieoverstroming blijft het wegennet rond de site in gebruik en blijven de verbindingswegen naar de belangrijkste steden of externe middelen vrij (hulpdiensten of brandweer). Zo blijft meer bepaald een vierbaansweg beschikbaar voor de doorgang van grote voertuigen.

Kerncentrale Doel

Verlies van externe stroomvoorziening

De bescherming van de systemen (onder meer veiligheidsdiesels) die erop gericht zijn om een uitval van het externe stroomnet op te vangen, is opgenomen in de ontwerpvoorzieningen van de site – denk aan de hoogte van het platform en de dijk.

Omstandigheden buiten de site bij risico op overstroming

De Scheldedijken beschermen het gebied rond de site tegen een mogelijke overstroming. Mochten de polderdijken het begeven, dan kunnen de toegangswegen naar de centrale onbruikbaar worden.

Bezwijking van een dijk

In het geval van een theoretisch extreme storm en de samengaande dijkbelasting, kan het bezwijken van een dijk dichtbij de site niet worden uitgesloten. Dit betekent niet noodzakelijk dat de dijk het begeeft, een dijk heeft immers altijd een reststerkte. Het betekent wel dat de dijk het bij een daaropvolgende storm kan begeven. Daarom is een inspectie- en onderhoudsprogramma voorzien.
Een recente studie – uitgaande van de opbouwlagen van de dijk (bepaald met behulp van sonderingen) in combinatie met de aangebrachte verstevigingsmechanismen (grasdals, breukstenen met bitumen overgoten, …) – toonde aan dat een initiatie tot dijkfaling kan optreden vanaf een terugkeerperiode van 1700 jaar (dit is de waarde op het meest kritische punt van de dijk, bepaald aan de hand van de lagenopbouw van de bodem) gepaard met een wind/storm uit de richting NW tot N.

3.1.3. Conformiteit van de centrale met de huidige ontwerpbasis

3.1.3.1. Algemene organisatie van de exploitant om de conformiteit met de ontwerpbasis te garanderen

Kerncentrale Tihange

Om mogelijke non-conformiteiten te identificeren moet de uitrusting die de site beschermt regelmatig worden geïnspecteerd:

- de stortmuur langs de zuidoever van het watervangkanaal en opgetrokken uit betonblokken, maakt deel uit van een onderhoudsplan zodat hij zijn functie correct kan vervullen bij hoogwater;
- de muren van de rivierdijk zijn eigendom van het Waalse gewest, dat instaat voor hun onderhoud.

Kerncentrale Doel

De Scheldedijkkruin langs de kerncentrale moet minstens + 11,08 m TAW hoog zijn (vereiste van de technische specificaties). Wanneer de dijkkruin lager is, moet hij worden heropgebouwd vóór het waterpeil van de Schelde + 7,58 m TAW overschrijdt. Deze dijkkruinhoogte moet om de 10 jaar gecontroleerd worden.
In de praktijk wordt de dijkkruin om de vijf jaar opgemeten – wat strenger is dan het veiligheidsrapport. De recentste hoogtemetingen (2011) waren positief: de vereisten van de technische specificaties werden moeiteloos gehaald.

De roll-on-roll-offschotten dienen te allen tijde gesloten te zijn. Dit wordt ook wekelijks gecontroleerd. Via een jaarlijks inspectieplan wordt de lekdichtheid van de roll-on-roll-off nagekeken.

De periodieke inspecties en het onderhoud van de Scheldedijk en van de dijk rondom de LU-vijvers worden uitgevoerd met onderhoudsplan en procedure, dit gebeurt jaarlijks. Zo wordt ervoor gezorgd dat de structurele integriteit van de dijken gewaarborgd blijft. De volledige buitenkant van de Scheldedijk wordt eveneens jaarlijks geïnspecteerd en onderhouden door Waterwegen en Zeeschelde.

3.1.3.2. Het gebruik van mobiele of specifieke uitrusting

Kerncentrale Tihange

Indien er toch waterdoorsijpeling is niettegenstaande de ontwerpbescherming van de site en indien de vaste draineerpompen niet volstaan om het water lokaal te evacueren, dan maakt de site gebruik van bijkomende uitrusting die te allen tijde beschikbaar is. Met name:

- 40 dompelpompen met verschillend vermogen;
- een installatie om snel zandzakken te vullen;
- een voorraad zand voor ongeveer 500 zakken, waarvan 150 al gevuld en gebruiksklaar zijn.

Daarom is om op een referentieoverstroming te reageren geen uitrusting van buitenaf nodig.
Bepaalde werkzame uitrustingen, zoals de dompelpompen, wordt gebruikt tijdens de geplande stilstand van een eenheid voor operationele doeleinden. Na de geplande stilstand van de eenheid worden tien pompen systematisch voor onderhoud naar de leverancier gestuurd. Al deze handelingen waarborgen hun goede prestatie.

Kerncentrale Doel

De uitbatingsvergunning maakt geen melding van mobiele uitrustingen die permanent ter beschikking moeten staan in geval van DBF.

3.1.3.3. Potentiële afwijkingen van de ontwerpbasis en acties om deze afwijkingen aan te pakken.

Kerncentrale Tihange

Naar aanleiding van de ramp in Fukushima werd, op basis van WANO SOER 2011-02, een volledige inspectie uitgevoerd va de installaties die de site beschermen tegen een referentieoverstroming. Hierbij werd geen non-conformiteit vastgesteld. Specifieke corrigerende acties waren niet nodig.

Kerncentrale Doel

Door de hoogte van het platform van de site en door de dijken is Doel beschermd tegen overstromingen. Dit is in de ontwerpbasis opgenomen. Hiervoor bestaan geen afwijkingen.
Naar aanleiding van de ramp in Fukushima heeft Doel een antwoord opgesteld met betrekking tot WANO SOER 2011-2. Er werden enkele specifieke acties m.b.t. het overstromingsrisico in gang gezet; enkele voorbeelden:

- De voorraad zandzakjes werd opgetrokken.
- Om de zelfbedruipendheid van de site te verhogen werden extra autonome dieselpompen aangeschaft.
- Inspecties en controles van overstromingsbescherming worden frequenter uitgevoerd, de periodiciteit is meestal strenger dan voorgeschreven in het veiligheidsrapport.

3.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges

3.2.1. Berekening van de veiligheidsmarge tegen overstroming

3.2.1.1. Maatregelen genomen tijdens de alarmfase en tijdens de overstroming

Kerncentrale Tihange

Overstroming van de site kan zich enkel voordien voor overstromingen van de Maas die de referentieoverstroming overschrijden (2615 m³/s). Wat betreft de responsstrategie voor dergelijke overstromingen, heeft de exploitant gekozen voor een unieke strategie zonder onderscheid te maken tussen overstromingen die de referentieoverstroming slechts licht overschrijden en de tienduizendjaarlijkse overstroming waarbij de site met 1.70 m water zou bedekt zijn op sommige plaatsen.

De responsstrategie start met het bereiken van een of twee terugvaltoestanden die kunnen worden gestabiliseerd vóór het water de site overstroomt. Deze toestanden zijn:

- Koude stilstand, als volgt gekenmerkt:
  - het reactorvat is open;
  - de BAN-D en de dokken van het reactorgebouw zijn gevuld en in verbinding via de transferbuis, wat de thermale inertie aanzienlijk verhoogt.
- tweefasige intermediaire stop, als volgt gekenmerkt:
  - een druk van 10 bar en een temperatuur tussen 120 °C en 140 °C in de primaire kring. Het drukregelvat is gedeeltelijk gevuld (ongeveer 75 %);
  - Alle compartimenten van de BAN-D-dokken zijn gevuld, maar de dokken van het reactorgebouw zijn leeg (transferbuis gesloten);
  - de druk in de stoomgeneratoren wordt verlaagd door de stoomaflaatklep naar de atmosfeer. Ze zijn tot het maximum gevuld om de thermische inertie te maximaliseren.

Een overstromingsalarmproces start met SETHY dat het Maasdebiet tot verschillende dagen op voorhand kan voorspellen. Wanneer SETHY een Maasdebiet registreert van meer dan 1500 m³/s, gaat deze afdeling in een alarmtoestand en neemt contact op met de site van Tihange. De bedrijfsploegen van Tihange 2 moeten dan regelmatig communiceren met SETHY om op de hoogte te blijven van de ontwikkeling van de situatie. Gelijktijdig informeren ze de twee andere eenheden en signaleren de overgang naar een alarmtoestand met betrekking tot het overstromingsrisico. De bedrijfsploegen van elke eenheid ondernemen specifieke acties om de toestand in hun eenheid te controleren zodat overstromingen snel kunnen worden ontdekt.

In rechtstreekse communicatie met SETHY wordt de bedrijfsploeg geïnformeerd over de verwachte evolutie van het debiet van de rivier. Zodra een debiet van 2500 m³/s wordt gerapporteerd, activeert de ploeg van Tihange 2 het interne noodplan, dat het noodteam oproept. De taak van het noodteam is om, op basis van de voorspellingen van SETHY en het voorspelde debiet, het stilleggen van de eenheden en het opstellen van CMU-uitrusting (Circuit des Moyens Ultimes). De CMU, die opgebouwd is uit vaste en mobiele pompen, buizen en kleppen, heeft een onafhankelijke elektrische voeding en beschermt de centrale tegen een overstroming die niet in de ontwerpbasis is voorzien. Het stilleggen van de eenheden en ze in de geschiktste terugvaltoestand plaatsen duurt 10 uur.

Wanneer door overstroming de conventionele uitrusting onbeschikbaar is geworden, wordt de tijdens het vooralarm geïnstalleerde CMU-uitrusting gebruikt. In procedures voor de bedrijfsploegen en onderhoudsploegen worden de uit te voeren handelingen beschreven. De technische bedrijfsploeg volstaat om de CMU-uitrusting te installeren binnen de bepaalde tijdslimieten.

Het stilleggen van de reactoreenheden, die minstens tien uur vóór de geleidelijke overstroming van de site is georganiseerd, vermindert de te evacueren restwarmte aanzienlijk. Wanneer het water de site bereikt, moet maximaal 20 MW thermisch vermogen van elke reactor worden geëvacueerd, of minder dan 1 % van het nominale vermogen. De CMU kan dan continu de drie reactors en de koeldokken koelen.

De CMU-uitrusting (meestal mobiel) die tijdens de overstromingsalarmfase werd geïnstalleerd, wordt pas in werking gesteld bij effectief defect van geclassificeerde uitrusting zodat deze laatste niet buiten bedrijf wordt gesteld terwijl ze nog functioneel is. De componenten van de CMU worden voldoende hoog geplaatst om ze te beschermen tegen de tienduizendjaarlijkse overstroming, met een marge van meer dan 2 meter. Tijdens de overstroming blijft de toegang tot de noodzakelijke gebouwen en uitrusting mogelijk. De verplaatsing tussen de eenheden gebeurt door middel van boten. Binnen de eenheden gebeuren de meeste verplaatsingen te voet, hetzij in de gebouwen of op externe voetbruggen die voor dit doel zijn geïnstalleerd of via daken.

Eens de site is overstroomd, is op korte termijn geen externe hulp nodig. In feite kan de CMU-uitrusting de eenheden meer dan 15 dagen in een stabiele en gecontroleerde toestand houden zonder externe toevoer van vermogen, brandstof, water, olie, enz. Dit is voldoende voor de periode van de overstroming (door de universiteit van Luik op 5 dagen geschat) en voor een langdurige periode na de overstroming. Hierdoor hebben de onderhoudsdiensten voldoende tijd om het nodige materiaal te voorzien en te installeren om de essentiële uitrusting permanent te herstellen.

Kerncentrale Doel

Wateroverlast op de site of in de polders kan enkel voorvallen bij zeer zware stormen. Zoals reeds besproken moeten proactieve waarschuwingen beschikbaar zijn. Het personeel van de kerncentrale zal in verhoogde staat van paraatheid verkeren. Noodplanprocedures worden bij de hand gehouden en preventief worden er enkele acties genomen. Dit omvat onder andere, inspectieronden om snel overstromingen vast te stellen en de preventieve plaatsing van zandzakken aan de kritieke toegangen tot de gebouwen. Hetzelfde noodplan kan eveneens reactief afgekondigd worden.

Het platform waarop de hele site is gebouwd, wordt omringd door 5 meter lager gelegen polders. In dergelijk geval van dijkbres (die niet in het ontwerp is voorzien) is de kans dat deze polders overstromen reëel. In dergelijk geval wordt de kerncentrale Doel effectief een eiland. De volgende elementen zijn van belang bij een dergelijke overstroming: evacuatie van en toegang voor personen, voedselvoorraad en brandstof voor veiligheidssystemen en nooddiesels. In de noodplanprocedures zijn de geschikte maatregelen beschreven.

Bij overstroming van de site zullen zowel noodplanprocedures en mobiele uitrusting worden gebruikt. In de noodplanprocedures staan alle te ondernemen acties beschreven bij een overstroming. Er zijn om te beginnen enkele reflexhandelingen: sluiten van toegangen aan de watervang Doel 1/2, controle van dichtheid roll-on-roll-off, … Vervolgens treedt een cascade aan verwittigingen op – een flowschema duidt aan wie op welk moment opgeroepen dient te worden en wat de taken zijn van:

- leden van de wachtdienst,
- de bewakingsdienst,
- de brandweer van de site,
- bedrijfsploegen.

Drie verschillende diensten kunnen mobiele uitrustingen inzetten:

- De kerncentrale van Doel heeft zijn eigen middelen aanwezig op de site: vijf mobiele elektrische pompen en acht dieselpompen (bijv. hoogdebietpomp van 10.000l/min dieselgedreven), ca. 450 zandzakjes, ... Een aantal mobiele dieselpompen (capaciteit per pomp: 10 m³/u.) zijn ook beschikbaar voor elke reactoreenheid om het overstromingswater uit de gebouwen te verwijderen.
- De brandweer van Beveren is het dichtstbijzijnde brandweerkorps en zal als eerste worden opgeroepen. Het brandweerkorps beschikt over vier hoogdebietpompen (tot 10.000 l/min).
- De civiele bescherming van Liedekerke beschikt over automatische pompen (tot 10.000 l/min), elektrische pompen, motorpompen, zandzakjes (150.000 stuks), motorboten, enz.

3.2.1.2. Analyse van de omstandigheden waaronder overstroming van de site zou kunnen optreden

Kerncentrale Tihange

Alle veiligheidsgebonden uitrusting die betrokken is bij het verzekeren van een stabiele en gecontroleerde toestand in de drie eenheden bevindt zich op ongeveer dezelfde hoogte van 71,50 m. Het peil van de Maas volstaat niet als criterium om de omvang van de getroffen zone te voorspellen; dit hangt namelijk af van het debiet van de rivier aangezien, bij hoogwater, het peil van de rivier stroomopwaarts van de site 0,5 m hoger is dan stroomafwaarts. Veel van het stroomopwaartse water dat door het platform dringt zal daarom terug naar de Maas lopen via de lager gelegen zones van de site zonder het hoge niveau van het platform te bereiken. Daarom hangt de grootte van de ondergelopen zone af van het debiet van de Maas. Hoe hoger het debiet hoe groter het oppervlakte van de site dat onder water zal staan. Tihange 1, het meest stroomopwaarts gelegen, zal als eerste eenheid worden bereikt, gevolgd door Tihange 2 en vervolgens Tihange 3. Op verzoek van de exploitant heeft de universiteit van Luik een studie uitgevoerd waarbij het debiet van de Maas, het peil van het stromende water en de topografie van de site werden gecombineerd om het water dat op het platform stroomt te modelleren.

Kerncentrale Doel

Golfslag over de Scheldedijk

Bij een zware storm kan een hoog waterpeil in combinatie met een ongunstige windrichting zorgen voor golfoverslag over de dijk.

Dit risico werd geanalyseerd tijdens de periodieke veiligheidsbeoordeling. Uit deze analyse blijkt dat golfoverslag kan voorkomen bij zware stormen met een terugkeerperiode van 200 tot 300 jaar. Het overslagvolume wordt relevant voor zware stormen met een terugkeerperiode van 1000 tot 10.000 jaar.

Op basis van een vereenvoudigd model waarbij de overslag de oorzaak is van water op de site en dit water naar de lager liggende polders stroomt aan de rand van de site, kan de overstroming op de site op gemiddeld 10 cm worden geschat voor een zware storm met een terugkeerperiode van 10.000 jaar.

Het bezwijken van een dijk nabij de site als gevolg van een beyond - DBF

Bij een zware storm gecombineerd met een ongunstige windrichting kan de dijk dusdanig belast worden dat een dijkfaling een reëel risico wordt. In dergelijk geval kan er een bres ontstaan en kan er water op de site stromen. Dit risico werd geanalyseerd tijdens de periodieke veiligheidsbeoordeling. De initiatie tot het bezwijken van een dijk kan optreden bij een zware storm met een terugkeerperiode van 1700 jaar. Met initiatie wordt bedoeld dat de dijk zou kunnen falen bij een volgende stormgebeurtenis wanneer in tussentijd de dijk niet hersteld wordt.

Bij de analyse naar de gevolgen van een bres in de Scheldedijk ter hoogte van de site wordt uitgegaan van de meest ongunstige (zwaarste) storm die kan leiden tot dijkfalen, gecumuleerd met een hoog Scheldepeil. Voor deze storm wordt een maximaal Scheldepeil van 10,2 m TAW vooropgesteld, wat 85 cm hoger is dan de gemiddelde tienduizendjaarlijkse overstroming. Uit de analyse blijkt dat het water de eerste gebouwen zal bereiken na ongeveer 60 min.; dit water zal via de rand van de site verder in de richting van de polders stromen.

Er wordt een wateroverlast van gemiddeld een 20-tal cm op de site berekend. Rekening houdend met de topografie van de site, wordt plaatselijk een grotere overstroming verwacht. Over het algemeen worden plaatselijke waterdiepten tussen 60 en 30 cm geschat voor plaatsen nabij de plaats van de bres en voor lager liggende delen van de site.

3.2.1.3. Gevolgen van overstroming voor de veiligheidsfuncties

Kerncentrale Tihange

De gevolgenanalyse is gebaseerd op het bereikte waterpeil op verschillende plaatsen op de site en, voor elke plaats, de daar aanwezige uitrusting die waarschijnlijk zal worden getroffen. Alle uitrusting die kan helpen bij de koeling van splijtstof in de kern of in de dokken wordt onderzocht.
Deze analyse hangt niet af van de oorspronkelijke toestand van de eenheden (vermogenbedrijf of stop).

Zodra het debiet van de Maas 2615 m³/s overschrijdt, dringt het water de site binnen, zonder rechtstreekse gevolgen aangezien geen veiligheidsgebonden gebouwen getroffen worden: het water blijft in het gebied noordelijk van het watervangkanaal. Een toename van ongeveer 200 m³/s of een debiet van 2800 m³/s is vereist om een bedreiging te vormen voor de elektrische veiligheidsvoeding van Tihange 1 en voor verlies van de CEU-Maas of de grondwaterpompen. De koeling van de stoomgeneratoren (of stilstandskoelkring RRA bij stop van de eenheid) is nog beschikbaar aangezien ze wordt geleverd door de nog droge GDS- en CEB-CREI-EAA-EAS-uitrusting.

Bij een debiet van 2800 m³/s is Tihange 1 volledig omringd door water. Alle gebouwen van de eenheid, uitgezonderd het reactorgebouw, zullen onder water lopen. De koelkringen voor de dokken zijn buiten bedrijf alsook de RRA (de CMU-uitrusting treedt in werking). De turbopomp van het hulpvoedingswatersysteem (TPA van EAS-systeem) blijft functioneel omdat ze op een steunbasis is gemonteerd. De terugkeerperiode van dergelijk debiet is bij benadering 400 jaar.
Gelijktijdig begint het water door de toegangsdeur van de BAN-D van Tihange 2 te dringen. De stroom kan met zandzakken worden tegengehouden en wordt naar buiten gepompt. Tihange 3 blijft nog droog.

Bij 2900 m³/s, een debiet dat bijna om de 600 jaar voorkomt, gaat de TPA van EAS van Tihange 1 verloren. Alleen de CMU voedt dan de stoomgeneratoren.
De lagere delen van de BUS van Tihange 2 lopen onder water en de samengaande 2^{e} niveau noodsystemen gaan verloren. De ondergrondse niveaus van de BAN en EA lopen onder water en de splijtstofdokken kunnen niet langer door de CTP-kring worden gekoeld (de pompen zijn overstroomd). Zelfs als de TPA EAA boven water blijft, kunnen een aantal stoom- en/of waterisolatieafsluiters worden gesloten door ontijdige signalen. De afsluiters kunnen nog altijd handmatig worden geopend (vanaf de BUS) en de koelfunctie van de stoomgenerator kan in stand gehouden worden.
In Tihange 3 begint het water langs de achterkant van de eenheid de BAN-N binnen te dringen. Dit veroorzaakt waterdoorsijpeling naar een van de drie BUS-luchtinlaten. Deze luchtinlaat is voorzien van een afsluitklep die tijdens de installatie van de CMU wordt gesloten om overstroming van de BUS van eenheid 3 te voorkomen.

Bij een debiet van 3000 m³/s gaat de laatste veiligheidsgebonden uitrusting van Tihange 2 verloren. Alleen de CMU-uitrusting blijft in bedrijf om de kern af te koelen. De terugkeerperiode van een debiet van deze omvang is ongeveer 900 jaar.
In Tihange 3 loopt de BAN onder water. Alleen de GDS- en de CEB-pompen blijven bedrijfsklaar en voeden de instrumentatie en een deel van de uitrusting met 380 V. Voor een eenheid in intermediaire stilstand, die door stoomgeneratoren wordt gekoeld, volstaat dit om de werking van de TPA EAA en zijn watervoorziening door de CEB in stand te houden en derhalve de kern te koelen. Bij een koude stilstand koelt de RRA de kern niet meer en neemt de CMU de watertoevoer naar de dokken over.

Boven 3300 m³/s zijn de veiligheidsgebonden systemen in de drie eenheden buiten bedrijf zelfs indien de externe voeding van Tihange 3 a priori beschikbaar blijft (de gevoelige punten bevinden zich één meter boven het grondniveau).

Tot slot gaan bij een tienduizendjaarlijkse overstroming (3488 m³/s) alle elektrische voedingspanelen verloren door de overstroming of door de inschakeling van beschermingstoestellen door kortsluitingen ten gevolge van het water. Alle diesels van de drie eenheden staan nu onder water

(GDS, GDR, GDU en DUR). Alleen de primaire batterijen (en de batterijen van secundaire noodkringen in Tihange 1) zijn dan nog beschikbaar voor de drie eenheden.

Kerncentrale Doel

De gebouwen die het eerst of het snelst onder water lopen bij een dijkgolfoverslag of het bezwijken van een dijk werden geïdentificeerd. Voor de belangrijkste SSC en hun fysieke locatie wordt gecontroleerd of er drempels, plinten, enz. aanwezig zijn ter bescherming tegen de overstromingsgevolgen bij een dijkgolfoverslag of het bezwijken van een dijk. Alleen de beschikbaarheid van toestellen gemonteerd in kelders of op grondniveau wordt geëvalueerd omdat er geen gevaar bestaat voor de andere.
Drie factoren spelen een belangrijke rol: ten eerste de hoogte van de respectievelijke toegangen; ten tweede de afstand van de Schelde: en ten derde, de toegangsdrempel.

- De lager liggende gebouwen moeten het hoofd bieden aan een grotere overstroming.
- In de lager gelegen gedeelten van de gebouwen zijn dompelpompen aanwezig om het instromende water af te voeren.
- Er zijn twee gescheiden draineersystemen: het rioleringsnet op de site staat niet in verbinding met dat in de gebouwen zelf.

De gevolgen van een golfoverslag over de Scheldedijk

Bij een golfoverslag blijft de overstroming op de site beperkt tot ongeveer 10 cm. De SSC die voor een veilige stilstand vereist zijn, blijven beschikbaar in dit geval. Bovendien worden bij een stormwaarschuwing aan de kritieke toegangen preventief zandzakken gelegd.

Gevolgen van een dijkfaling dichtbij de site door een beyond-DBF

In dit geval wordt de overstroming op de site op ongeveer een gemiddelde van 20 cm geschat. Rekening houdend met de topografie van de site wordt plaatselijk een grotere overstroming verwacht.
Bij Doel 1/2 en Doel 3 blijven de noodsystemen (2e veiligheidsniveau) behouden. Bij Doel 4 zullen de veiligheidssystemen (het 1e veiligheidsniveau) gevrijwaard blijven van waterinsijpeling; het GVD kan overstromen maar de AF-pompen blijven beschikbaar. In de BKR kan er een beperkte wateroverlast optreden.
Tijdens stormwaarschuwingen worden aan kritieke toegangen preventief zandzakken gelegd. Deze moeten de belangrijke gebouwen tegen wateroverlast behoeden.

3.2.1.4. Zwakke punten en cliff-edge-effecten

Kerncentrale Tihange

De site van Tihange heeft in praktisch alle opzichten een vlak ontwerp. Het verschil tussen het gereglementeerde Maaspeil en de oevers van de site (of de stortmuur langs het watervangkanaal) bedraagt 2 meter. Hoewel deze 2 meter volstaan om rivierwater met een debiet van 2615 m³/s tegen te houden, vormt de afwezigheid van hogere muren een zwak punt. Dit geldt ook voor het watervangkanaal van de Maas en de verschillende uitlaten (koelwaterlozing van de drie eenheden en het rioleringssysteem).

Weinig gebouwen zijn afgedicht tegen extern overstromingswater (indien dit het geval is bedraagt de bescherming 0,2 m). De kwetsbaarheid van deze gebouwen wordt gevormd door de toegangen die de waterdoorsijpeling niet stoppen. Er is onvoldoende interne capaciteit om het overstromingswater op te slaan en de pompen van de verschillende sterfputten volstaan niet om in dergelijke situatie het binnenkomende water te evacueren.

In Tihange 1 gaan de ruw water pompen (CEB) en de grondwaterpompen in de pompstations verloren zodra het waterpeil een hoogte van 71,5 m bereikt, terwijl ze in Tihange 2 en 3 overstromen wanneer het waterpeil ongeveer 71,75 m bereikt. Tot slot, de vitale gebouwen zoals het BAE-gebouw (uitgezonderd in Tihange 1 waar het op een hoogte staat), BAN en BUS hebben geen verhoogde rand zodat het binnenkomende water de ondergrondse verdiepingen overstroomt waar 75 % van de veiligheidssystemen is opgesteld (CIS-CAE-CUS). Hierna zullen de tussenruimten overstromen.

Indien echter verschillende conventionele pompen door de overstroming zijn beschadigd, zal hun herstelling (of vervanging van de elektrische voeding) slechts enkele dagen vergen zodra het water zich terugtrekt. Pompen vanuit de alluviale waterspiegel zal terug mogelijk zijn.

Zoals reeds beschreven, is het tienduizendjaarlijks hoogwater geen plotse gebeurtenis; dit laat SETHY toe Tihange te waarschuwen ruim voor de site begint te overstromen.

Deze periode laat Tihange toe om, niet langer dan 10 uur vóór de overstroming van het platform, de volgende acties te organiseren:

- veilige stop en controle van de drie eenheden;
- isoleren van het containment en de kern subkritisch maken
- overgang naar een gestabiliseerde terugvaltoestand op lange termijn;
- plaatsen en uitlijnen van CMU-uitrusting om de handhaving van deze terugvaltoestanden te waarborgen en om het falen van veiligheidsgebonden uitrusting op te vangen.

Deze mobiele uitrusting en de diesels die hen aandrijven worden op meer dan twee meter boven het maximale waterniveau geplaatst dat zou worden bereikt bij tienduizendjaarlijks hoogwater. Ze zijn dan ook volledig beschermd tegen dergelijk hoogwater.

Wanneer het hoogwater de referentieoverstroming overschrijdt, dan zijn de cliff-edge-effecten de volgende:

- het eerste cliff-edge-effect is een debiet in de orde van 2800 m³/s, met water dat de essentiële gebouwen van Tihange binnenloopt.
- het tweede cliff-edge-effect is het bereiken van een debiet van 2900 m³/s. Dit komt overeen met de overstroming van uitrustingen op sokkels in Tihange 1 en het binnenlopen van water in Tihange 2.
- het derde cliff-edge-effect doet zich voor bij een debiet van 3000 m³/s. Tihange 2 is dan zonder zijn TPA EAA, de CMU neemt dan de splijtstofkoeling over.
- Het laatste cliff-edge-effect treedt op bij een debiet tussen 3000 en 3300 m³/s, een debiet dat resulteert in het verlies van de TPA EAA in Tihange 3. De CMU blijft de splijtstof in de dokken en de kern koelen.

Afrondend, de geleidelijke overstroming van de site leidt tot het geleidelijke verlies van veel geclassificeerde uitrusting. Wanneer de splijtstofkoeluitrusting is aangetast, wordt de CMU-kring van elke eenheid gebruikt om de koelfunctie in de kern en in de splijtstof in de dokken te verzorgen. De CMU kan deze functie gedurende meer dan twee weken overnemen.
Geen van deze cliff-edge-effecten brengt de koeling van de kern in gedrang.

Kerncentrale Doel

De ontwerpbescherming van de site van Doel tegen overstroming is robuust. Een overstroming van de site kan enkel optreden bij een combinatie van een zeer hoog Scheldepeil met aanzienlijke windgolven of met een bres in de dijk. In dergelijke gevallen kan er water uit de Schelde op de site terechtkomen.
Dit water zal vervolgens naar de rand van de site en verder in de polders stromen. Ordegrootte van de wateroverlast die dit veroorzaakt is enkele tientallen cm water, afhankelijk van het plaatselijk reliëf van de site en de afstand tot de dijk of bres.

Daarom treden cliff-edge-effecten ofwel op vanaf het ogenblik dat substantiële hoeveelheden water via golfoverslag over de dijk of vanaf het ogenblik dat een dijkbreuk ontstaat. De waarschijnlijkheid dat belangrijke cliff-edge-effecten optreden is evenwel zeer klein.
Een zwak punt is dat het ontwerp van een aantal gebouwen geen waterdichtheid garandeert in geval van tientallen cm water op de site.

3.2.1.5. Combinatie van overstroming met ongunstige meteorologische omstandigheden

Er is rekening gehouden met de combinatie van extreme weersomstandigheden en overstroming voor de gebeurtenissen waarbij een plausibel verband tussen de fenomenen bestaat. Het doel is de impact te evalueren van situaties die zelfs slechter zijn dan een gewone overstroming.

Kerncentrale Tihange

Referentieoverstroming + hevige regenval

Gezien de aanwezigheid van de sliboppervlaktelaag en het feit dat Tihange grotendeels met asfalt is bedekt, wordt het merendeel van het regenwater dat op de site valt in de afvoerbuizen opgevangen. Het afvoerbuizennet volstaat om de regen af te voeren bij hevige regenval. Aangezien het niveau van de afvoerbuisuitlaten hoger is dan het niveau dat de Maas tijdens een referentieoverstroming kan bereiken, blijft het afvoerbuizennet operationeel zodat het regenwater verder kan worden afgevoerd. Daarom zullen alle veiligheidsfuncties operationeel blijven.

Referentieoverstroming + hevige wind + LOOP

Wind, zelfs hevige wind, zou de massieve structuren van het metselwerk en de stenen rivierdijken of de verhoogde oevers van de watervangkanalen niet mogen beschadigen.
Hevige wind kan in de rivier evenwel een golfbeweging veroorzaken en kleine hoeveelheden water kunnen dan over deze beschermingen stromen. Zodra het water de site bereikt stroomt het terug naar de Maas, ofwel via de afvoerbuizen (het niveau van de afvoerbuizen is hoger dan het niveau dat de Maas tijdens een referentieoverstroming bereikt) ofwel door over het oppervlak te stromen.
Het draineersysteem dat werkt op basis van de zwaartekracht blijft operationeel. Bij verlies van externe elektrische voeding zal in Tihange 1 slechts een gedeelte van het draineersysteem onbeschikbaar zijn. Gezien de topografie van de site, zal het overtollige water in een afvoersloot naar de dichtstbijzijnde greppel lopen en, in de ongunstigste gevallen, naar de beschermende hoogwaterkeermuur. Wanneer dit water een peil van 71,35 m bereikt, vloeit het weg naar het watervangkanaal. Een dergelijk waterpeil zal geen invloed hebben op de veiligheiduitrusting in de betrokken zone.
Bovendien zijn de gebouwen waarin de veiligheidsuitrusting is ondergebracht bestand tegen krachtige winden. Daarom zullen alle veiligheidsfuncties operationeel blijven.

Beyond Referentieoverstroming + hevige regenval + LOOP

Deze situatie combineert hoogwater dat de referentieoverstroming overschrijdt met hevige regen en verlies van externe elektrische voeding. Wanneer het platform van de site gedeeltelijk of volledig door de Maas is overstroomd veroorzaakt hevige regen geen bijkomend probleem. In feite bevindt de CMU-uitrusting die de conventionele uitrusting vervangt (onbruikbaar door het hoogwater) zich op een plaats beschermd tegen overstroming en regen. Aangezien deze uitrusting haar eigen elektrische voeding heeft, heeft het verlies van externe voeding geen impact.

Beyond Referentieoverstroming + hevige wind + LOOP

Deze situatie combineert hoogwater dat de referentieoverstroming overschrijdt met hevige wind en verlies van externe voeding ten gevolge van hevige wind. Bij dergelijk hoogwater kan geen geclassificeerde uitrusting worden gebruikt, maar de CMU wordt geïnstalleerd tijdens de fase die de overstroming voorafgaat om de koeling van de kern en de dokken te waarborgen. Sommige CMU-uitrusting vereist evenwel toegang van buitenaf.
Tijdens de eigenlijke overstroming zullen sommige gebouwen alleen via het dak toegankelijk zijn. De bewegingen van het personeel zullen door het weer worden gehinderd, wat de activiteiten vertraagt. Door de inertie van het water in de stoomgeneratoren zal er voldoende tijd zijn om de nodige handelingen uit te voeren.
Sommige CMU-uitrusting die zich buiten (op de daken) bevindt is niet tegen storm bestand. Derhalve kan ze beschadigd geraken.

De site beschikt evenwel over drie identieke mobiele motorpompen die individueel de kern via de stoomgeneratoren en de splijtstof in de dokken met suppletiewater kunnen koelen. De inertie van 11 tot 14 uur (afhankelijk van de eenheid) gevormd door het water in de stoomgeneratoren laat voldoende tijd om deze pomp aan de geschikte kring aan te sluiten.

Beyond Referentieoverstroming + hevige regenval + hevige wind + LOOP
Deze situatie voegt aan het vorige scenario hevige regen toe (hoogwater dat de referentieoverstroming overschrijdt, hevige wind en verlies van externe voeding). Er worden geen bijkomende beperkingen waargenomen tegenover de vorige situatie.

Kerncentrale Doel

DBF + hevige regenval
Bij DBF blijft het Scheldepeil ruim onder het niveau van de dijk. Hevige regen zal via de rioleringen worden afgevoerd of doorsijpelen in de absorberende zandgrond van het platform van de site (zie hoofdstuk 4 over extreme meteorologische omstandigheden). De riolering blijft operationeel bij een DBF.

DBF + hevige wind + LOOP
Bij DBF blijft het Scheldepeil ruim onder het niveau van de dijk. In combinatie met hevige wind uit een ongunstige richting kan dit, zoals reeds vermeld, aanleiding geven tot golfoverslag van de dijk.
Hevige wind kan ook aanleiding geven tot LOOP (zie hoofdstuk 4 over extreme meteorologische omstandigheden). Bij LOOP zijn de pompen voor het rioleringssysteem die het water terugpompen naar de Schelde buiten werking. De riolering verliest dan zijn afvoercapaciteit maar de opvangcapaciteit blijft behouden. De gevolgenanalyse van paragraaf 3.2.1.2 blijft geldig aangezien ze geen rekening houdt met de afvoer- of opslagcapaciteit van het rioleringssysteem.

Beyond DBF + hevige regenval + LOOP
Zoals eerder vermeld blijft het Scheldepeil onder het niveau van de dijk. De hevige regen zal niet langer via de rioleringen worden afgevoerd aangezien de pompen in het rioleringssysteem in geval van LOOP niet meer werken. De riolering zal zijn afvoercapaciteit verliezen, maar de opvangcapaciteit blijft behouden en het regenwater zal naar de rand van de site en verder in de polders stromen.

Beyond DBF + hevige wind + LOOP
Zoals eerder vermeld blijft het Scheldepeil onder het niveau van de dijk. Gecombineerd met hevige wind uit ongunstige richting kan dit aanleiding geven tot golfoverslag over de dijk. Dergelijke combinatie van hevige storm en wind uit een ongunstige richting leidt ook tot aanzienlijke belasting van de dijk en het gevaar dat de dijk bezwijkt.
Hevige wind kan ook aanleiding geven tot LOOP (zie hoofdstuk 4 over extreme meteorologische omstandigheden). Bij LOOP zijn de pompen voor het rioleringssysteem die het water terugpompen naar de Schelde buiten werking. De riolering verliest dan zijn afvoercapaciteit maar de opvangcapaciteit blijft behouden. De gevolgenanalyse van paragraaf 3.2.1.2 blijft gelden omdat ze geen rekening houdt met de afvoer- of opvangcapaciteit van het rioleringssysteem een aangezien de analyse uitgaat van een maximaal Scheldepeil dat hoger is dan de DBF.

Beyond DBF + hevige regenval + hevige wind + LOOP
Dit is een combinatie van de twee vorige scenario's. In dergelijk geval zal, zoals reeds besproken, het waterpeil op de site enkele cm stijgen tegenover het waterpeil bij golfoverslag over de dijk of bij een dijkbres, zoals besproken in paragraaf 3.2.1.2. De mobiele diesels op de site kunnen worden gebruikt als vervanging voor de pompen in het rioleringssysteem.

3.2.2. Maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid van de centrales tegen overstroming te verbeteren.

3.2.2.1. Verbeteringen aan de infrastructuur

Kerncentrale Tihange

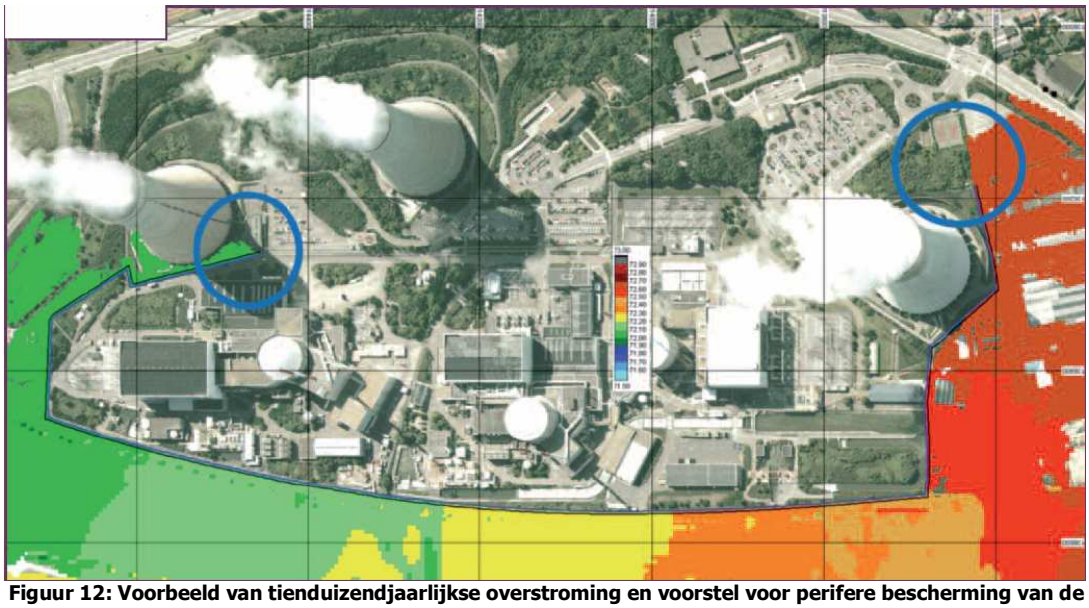
Mogelijke verbeteringen van de bescherming tegen overstromingen die niet in het ontwerp zijn voorzien (Beyond – Referentieoverstroming) zijn reeds geïdentificeerd in het kader van de periodieke veiligheidsherziening. Momenteel lopen haalbaarheidsstudies Sommige wijzigingen, met betrekking tot afgeronde haalbaarheidsstudie, worden doorgevoerd.

De verbeteringen bestaan uit de invoering van drie opeenvolgende onafhankelijke verdedigingslijnen. Alle handelingen om deze drie verdedigingslijnen in werking te stellen worden gestart de uren vóór het water de site bereikt dankzij de waarschuwing van SETHY. Daarom zal de kerncentrale klaar zijn om de tienduizendjaarlijkse overstroming het hoofd te bieden zodra de Maas het niveau van de referentieoverstroming bereikt. Hierna worden de drie verdedigingslijnen in detail beschreven.

- **Perifere bescherming van de site** (eerste verdedigingslijn)

De universiteit van Luik heeft het waterpeil geëvalueerd dat door tienduizendjaarlijks hoogwater wordt voortgebracht (debiet 3488 m³/s). Een project ter bescherming van de perimeter van de site aangepast aan dit niveau wordt overwogen. Het doel van dergelijke perimeterbescherming is de site droog te houden. Ze bestaat uit een muur die hoger is dan het Maasniveau in geval van tienduizendjaarlijkse overstroming. Deze muur zou een kistdam omvatten die, bij dreigende overstroming van de site, zou kunnen worden gebruikt om openingen af te sluiten die nodig zijn voor het normale bedrijf van de kerncentrale (bijvoorbeeld aan het watervangkanaal en de afvoeraflaten van elke eenheid). Bijkomende technische en organisatorische oplossingen zullen toelaten om koelwater (ruw water of grondwater) te lozen naar de Maas en om water van on-site hevige regenval af te voeren.
Deze overstroming zal dan ook geen invloed hebben op de uitrusting. Alle systemen, structuren en componenten die nodig zijn voor een stabiele en gecontroleerde stilstand van de eenheden blijven beschikbaar.

Niettegenstaande deze perifere perimeterbescherming kunnen de eenheden van Tihange niet in vermogenbedrijf blijven aangezien het water van het watervangkanaal tot het minimum zal worden verlaagd dat noodzakelijk is om een vitale toevoer van koelwater te garanderen. Bij wijze van ´defence-in-depth` zal, de bestaande strategie om over te schakelen naar een terugvaltoestand van de reactoreenheden bij dreigende overstroming worden behouden, om plaatselijk falen van de eerstelijnsverdediging aan te pakken die een plots binnenstromend water op de site veroorzaakt. Bovendien wordt de invoering van een tweede fysieke verdedigingslijn tegen overstroming van de gebouwen onderzocht.



Figuur 12: Voorbeeld van tienduizendjaarlijkse overstroming en voorstel voor perifere bescherming van de site

- **Plaatselijke volumetrische bescherming** (tweede verdedigingslijn)

Het doel van deze tweede verdedigingslijn is in elke eenheid, onafhankelijk, een aantal gebouwen te behouden waarin de uitrusting is ondergebracht die minstens nodig is voor koeling voor de kern en de splijtstofdokken. Daarom zullen tijdens de overstromingsalarmperiode kistdammen en andere dichtingstoestellen worden geïnstalleerd.
De tweede verdedigingslijn zal niet integraal permanent worden geïnstalleerd. Sommige uitrustingen zoals de kistdam kunnen tijdens de overstromingsalarmperiode worden geïnstalleerd.

- **Inzetten van niet-conventionele middelen op de site** (derde verdedigingslijn)

Zoals de plaatselijke volumetrische bescherming, kunnen niet-conventionele mobiele middelen ook tijdens de overstromingsalarmperiode worden geïnstalleerd. Dit betreft voornamelijk de verbetering van de robuustheid en de betrouwbaarheid van de CMU-uitrusting die al beschikbaar is op de site.
De niet-conventionele middelen bestaan onder andere uit:

- het vermogen van de CMU-diesels verhogen om de toegevoegde functies van de CMU te verhogen en/of het aantal pompen te verhogen dat kan worden aangedreven;
- toegang en communicatie vergemakkelijken;
- een maximaal aantal buigzame elementen vervangen door vaste buizen om de handelingen te verminderen die nodig zijn om de kring uit te lijnen;
- een primaire suppletiepomp toevoegen;
- het aantal instrumentatiemetingen verhogen die door CMU-uitrusting worden gevoed om bij ongeval de controle te vergemakkelijken.

De actieve uitrusting van deze derde verdedigingslijn moet op een voor het overstromingswater onbereikbare hoogte worden opgeslagen of vastgezet. Na ongeveer vijf dagen zou het overstromingswater van de site moeten wegtrekken Tijdens deze periode zullen de aan de CMU toegevoegde niet-conventionele toestellen ook een grotere autonomie hebben.

Kerncentrale Doel

De site van Doel is reeds goed beschermd tegen overstroming, enkel in sommige extreme omstandigheden kan water op de site komen. Als preventieve maatregel worden zandzakken gelegd aan de kritische ingangen. Deze zandzakken worden op termijn vervangen door permanente barrières die ervoor zorgen dat het water buiten blijft.
Om een mogelijke dijkverzwakking te voorkomen zal de bovenste meter van de dijk met grasdallen worden verstevigd.

3.2.2.2. Procedurele verbeteringen

Kerncentrale Tihange

De reeds bestaande procedures moeten met een reeks nieuwe worden aangevuld waarin de handhaving en de invoering van de drie verdedigingslijnen worden beschreven.

- Voor alle verdedigingslijnen: een coördinerende overstromingsprocedure opstellen voor elke reactoreenheid die moet worden gebruikt bij aankondiging van hoogwater. Ze moet een reeks procedures vermelden waarin het stilleggen, het plaatsen van mobiele toestellen en het opzetten van de drie verdedigingslijnen worden beschreven.
- Voor de eerste verdedigingslijn (perifere bescherming)
    - procedures voor het plaatsen van kistdammen;
    - er moeten procedures worden opgesteld voor de periodieke inspectie en de handhaving van deze bescherming en de opslag van mobiele elementen.
- Voor de tweede verdedigingslijn (Plaatselijke volumetrische bescherming)
    - procedures voor het plaatsen van deze bescherming;
    - er moeten procedures worden opgesteld voor de periodieke inspectie en de handhaving van deze volumetrische beschermingssystemen en hun opslag.
- Voor de derde verdedigingslijn (inzetten van niet-conventionele middelen op de site):
    - procedures voor het opstellen van niet-conventionele middelen;
    - er moeten procedures worden opgesteld voor het onderhoud en de inspectie van mobiele en/of vaste toestellen.

Kerncentrale Doel

Extra aanpassingen zullen worden aangebracht om de reactoreenheden beter te beschermen. Zodra de permanente barrières aan de kritische ingangen geplaatst zijn, zullen deze in de noodplanprocedures worden opgenomen.

3.2.2.3. Organisatorische verbeteringen

Kerncentrale Tihange

De verschillende organisatorische lagen zullen worden aangepast aan de lopende verbetering van de beschermingen tegen overstroming (fysieke bescherming van de perimeter, plaatselijke volumetrische bescherming en het gebruik van mobiele toestellen).

Het interne noodplan zal ook worden aangepast om specifiek de organisatie te beschrijven die is gekozen om een simultane overstroming in de drie eenheden aan te pakken. Het zal ook nodig zijn om ervoor te zorgen dat de nodige middelen kunnen worden ingezet binnen gepaste tijdslimieten om de drie verdedigingslijnen op te zetten voordat de site overstroomt.

De tijdslimieten voor de invoering en het goed begrijpen van de uit te voeren handelingen in de context van deze drie nieuwe verdedigingslijnen zullen door middel van periodieke oefeningen worden gevalideerd.

Kerncentrale Doel

De noodplanprocedures voorzien ook alle informatie over de interne organisatorische maatregelen bij overstromingsgevaar. Zo zijn er vaste protocols opgesteld in overleg met de regionale afdeling verantwoordelijk voor overstromingsbescherming (" Waterwegen en Zeekanaal") en andere openbare instellingen.

3.3 Samenvatting van de belangrijkste door de exploitant voorgestelde resultaten

Gebaseerd op de informatie in de stresstestverslagen van de exploitant en de bijkomende informatie die door de exploitant werd verstrekt tijdens de technische vergaderingen en on-site inspecties, zijn de belangrijkste resultaten voor het onderwerp "overstroming" de volgende:

3.3.1. Kerncentrale Tihange

Ontwerpbasis en verificatie

De hoogste waterstand bij overstroming waarmee rekening werd gehouden bij het ontwerp van de site van Tihange en de drie eenheden stemt overeen met een debiet van de Maas dat overeenkomt met de hoogste gekende historische waterstand vermeerderd met 20% (deze oorspronkelijke ontwerpbasisoverstroming wordt "referentieoverstoming" genoemd in het verslag van de exploitant). In het ontwerpstadium werd deze "referentieoverstroming" geschat op 2200 m³/s, en het ermee overeenstemmende waterniveau van de Maas aan de stroomopwaartse grenslijn van de Tihange-site werd geschat op 69,80 m. Zo werd het platform van de kerncentrale van Tihange gebouwd op een niveau van 71,30 m (dwz met een veiligheidsmarge van 1,5 m), waardoor een droge site kan worden gegarandeerd zonder bijkomende bescherming van de site en de drie eenheden (bv. perifere dijken of barrières).

Als resultaat van recente vloedwaarden die werden opgetekend in de Maasvallei, met een maximumdebiet van 2179 m³/s en een overeenstemmend waterpeil van 70,47 m in het watertoevoerkanaal (in 1995), werd een herevaluatie van het overstromingsrisico uitgevoerd, gebruik makend van een statistische analyse (POT-analyse) van gemeten hoge waterstandgegevens (over een periode van 47 jaar, 1958-2004) om zo te komen tot rivierdebieten met verschillende terugkeerperiodes en gebruik makend van een 2D-hydrodynamisch model en gedetailleerde topo-bathymetrische gegevens van de Maasvallei om de overeenstemmende waterhoogtes en overstromingsgebieden te bepalen.

Deze analyse toont dat de "referentieoverstroming" die ondertussen door de exploitant tot 2615 m³/s (debiet van 1995 + 20%) geherevalueerd werd, overeenstemt met een waterhoogte van 71,30 m, wat hetzelfde is als de verhoging van het platform van de site en gekenmerkt wordt door een terugkeerperiode tussen 100 jaar (95^{e} percentiel) en 400 jaar (mediaan). Om de bescherming van de site te versterken tegen deze "referentieoverstroming" en elke niet-conformiteit te vermijden, werd er een kleine, seismisch verankerde, muur geïnstalleerd langs het watertoevoerkanaal. Ook het water dat op de site terechtkomt door golven die door de wind in het watertoevoerkanaal worden geblazen (terugkeerperiode tot 100 jaar), zou door deze muur moeten worden tegengehouden.

Een hydrodynamische analyse van een totale breuk van de dam op de Maas in Andenne-Seille, d.i. stroomopwaarts van Tihange werd tevens uitgevoerd. Er werd aangetoond dat een dergelijke gebeurtenis zou leiden tot een waterhoogte van 70,54 m in het watertoevoerkanaal, wat vergelijkbaar is met de vloed van 1995 en beduidend lager dan het waterniveau van de referentieoverstroming die omhullend blijft.

Evaluatie van de veiligheidsmarges en bijkomende maatregelen

Tijdens de herevaluatie van het overstromingsrisico heeft de veiligheidsautoriteit gevraagd dat de eenheden beschermd zouden zijn tegen een 10.000-jaarlijkse overstroming, of een design basis flood (DBF) die vaak wordt gehanteerd in nationale nucleaire regelgevingen (Duitsland, Frankrijk, …). In overeenstemming met de Franse regelgeving (RFS I.2.e) werd een 1000-jaarlijkse overstroming (70^{e} percentiel) vermeerderd met 15% gekozen als zijnde representatief voor een dergelijk ontwerpbasisoverstroming. Voor de Maas vlakbij Tihange, zou deze DBF, zoals afgeleid uit bovenvermelde POT-analyse, overeenstemmen met een debiet van 3488 m³/s. Dergelijke waterstanden zouden ruimschoots de hoogte van het platform van de site overschrijden waardoor de drie eenheden zouden overstromen en veel van het veiligheidsgebonden materiaal defect zou raken,

met inbegrip van alle on-site AC-stroombronnen en beide primaire en alternatieve ultieme koudebronnen. De toegankelijkheid van de site zou evenwel gegarandeerd blijven, gezien de hoofdtoegangsweg en de sitetoegang niet zouden overstroomd worden.

Bijgevolg werd er een reeks bijkomende beschermingsmaatregelen, overeenkomstig een defence-in-depth logica, samen met een specifieke noodstrategie (met de gepaste procedures) gevraagd door de veiligheidsautoriteit.

In antwoord op deze vraag heeft de exploitant voorgesteld om drie beschermingsniveaus te implementeren die, in principe, door de veiligheidsautoriteit werden aanvaard:

1. een perifere bescherming van de site;
2. lokale bescherming van de gebouwen die de uitrusting bevatten die vereist is om de eenheden in een veilige toestand te brengen en te behouden, waardoor voor elke eenheid een "waterdicht" gebied wordt gegarandeerd;
3. een reeks niet-conventionele middelen (NCM), die de koeling van de drie reactoren en de splijtstofdokken kunnen garanderen in geval van overstroming van de conventionele middelen (door een defect van de eerste en tweede beschermingsniveaus) en die gebruikt kunnen worden voor overstromingen die de 10.000-jaarlijkse overstroming overschrijden.

De eerste 2 beschermingsniveaus zijn nog niet geïmplementeerd (zowel het ontwerp als de implementatie van deze bescherming worden nog bestudeerd). Het eerste beschermingsniveau is bedoeld om de Tihange-site te beschermen tegen 10.000-jaarlijkse overstroming, de nieuwe ontwerpbasis, door een droge site te garanderen. De tweede en derde beschermingsniveaus worden dan nuttig voor de bescherming tegen overstromingen groter dan de 10.000-jaarlijkse overstroming, de nieuwe buiten-ontwerpbasis (BDBF), en ook om de defense-in-depth te verbeteren.

Op het eind van juni 2011 was het derde beschermingsniveau gedeeltelijk geïmplementeerd door de installatie - op elke eenheid - van een reeks niet-conventionele middelen (het zogenoemde Ultimate Means Circuit, CMU) om de eenheden in een veilige stilstand te houden in afwachting van herstellingen of vervanging van beschadigde SSC. Een noodplanstrategie en -organisatie, met de bijbehorende procedures, werd ook ontwikkeld.

M.b.t. de verdere ontwikkeling van het derde beschermingsniveau heeft de exploitant voor elke eenheid en in de eerste plaats voor de stroomopwaartse eenheid Tihange 1, aangekondigd dat er redundante en/of diverse ultieme middelen (hoofd- en alternatieve middelen) voorzien zullen worden om, of on-site proper water te pompen (bv. van gedemineraliseerde watertanks), of vloedwater in de bestaande systemen (EDN, CEI, ...) te pompen die gebruikt worden voor de watervoorziening van de stoomgeneratoren en de splijtstofdokken (een dergelijke diversiteit is op dit ogenblik voorzien in Tihange 2). Bijkomend hierbij zullen de nieuwe grondwaterbronnen in werking worden gesteld als belangrijkste hoofdwaterbronnen na overstroming van de site.

Bijkomende (externe) middelen, of vervangingen/herstellingen van beschadigde veiligheidsgebonden uitrusting die nodig kan zijn voor de langetermijnstrategie om de eenheden in een veilige stilstand te behouden, zullen tevens verder geïdentificeerd worden door de exploitant. Er zullen overeenstemmende midden- en langetermijnprocedures worden opgesteld.

In het door de exploitant voorgestelde actieplan wordt voorzien om hoge prioriteit te verlenen aan de verdere implementatie van alle beschermingsniveaus. De voorgestelde planning is 2014 voor de perifere bescherming van de site (1ste beschermingsniveau), 2012-2013 voor de lokale bescherming van de gebouwen van elke eenheid (2^{e} beschermingsniveau), en 2012 voor de verdere verbetering van de niet-conventionele middelen (3^{e} beschermingsniveau). Daarnaast wordt de verdere verbetering van de noodplanstrategie en -organisatie, met inbegrip van de bijbehorende procedures, voorzien voor 2012-2013. De hoogte prioriteit wordt aan het eerste beschermingsniveau toegekend omdat hierbij de nieuwe ontwerpbasis worden gedefinieerd m.b.t. het risico op een overstroming van de site. Gezien de 2^{e} en 3^{e} beschermingsniveaus de veiligheid van de site verhogen bij overstromingen die de huidige referentieoverstroming overschrijden, krijgen deze tevens een hoge prioriteit.

3.3.2. Kerncentrale Doel

Ontwerpbasis en verificatie

De maximale overstroming waarmee rekening werd gehouden in het ontwerp van de site van Doel en de vier eenheden (+9,13m TAW) stemt overeen met een combinatie van hoogtij en stormdeining in het Schelde-estuarium die geschat wordt voor een terugkeerperiode van 10.000 jaar. Het platform van de site (op +8,86m TAW) is beschermd tegen een dergelijke overstroming door de dijk langs de Schelde (initiële hoogte op +11,08m TAW, later verhoogd tot +12,08m TAW).

Door de recente overstromingen die in België (bv. in de Maasvallei) en de ons omringende landen konden worden opgetekend (bv. bij de kerncentrale van Blayais in december 1999), werd een herevaluatie van het overstromingsrisico op de site van Doel uitgevoerd in 2006-2007. Deze analyse toont aan dat de site nog steeds beschermd is tegen een hoog waterpeil van de Schelde die overeenstemt met een overstroming voorzien in de ontwerpbasis (hoogtij + stormdeining, 95^{e} percentiel, met een terugkeerperiode van 10.000 jaar).

Daarenboven werden de gevolgen van windgolven, zoals dijkoverslag, onderzocht. Door de gunstige locatie van de Doel-site m.b.t. dominante windrichtingen in geval van stormdeining, zou dijkoverslag, wat zich kan voordoen met terugkeerperiodes van meer dan 300 jaar, zelfs bij een 10.000-jaarlijkse stormdeining, kunnen leiden tot hanteerbare debieten omdat het water afgevoerd kan worden (bv. door het lokale rioolnet of, indien nodig, door een grote mobiele pomp) terwijl waterinsijpeling in de veiligheidsgebonden gebouwen kan worden verhinderd, indien nodig, dmv zandzakjes (reeds beschikbaar) of mobiele barrières (die gepland zijn om geïnstalleerd te worden en geïntegreerd in het on-site noodplan). Sommige kleinere mobiele pompen die gebruikt kunnen worden om water af te voeren dat in gebouwen is doorgesijpeld, zijn tevens beschikbaar op de site.

Zodoende blijven tijdens een overstroming voorzien in de ontwerpbasis de SSC van het eerste en tweede beschermingsniveau beschikbaar. Daarnaast komt de toegang tot de site niet in het gedrang.

Evaluatie van de veiligheidsmarges en bijkomende maatregelen

Naast de gevolgen van windgolven en dijkoverslag werd ook het fenomeen dijkfalen, dat zou kunnen voorkomen na een significante erosie die niet tijdig hersteld geweest is, bestudeerd. Voor het worst case scenario, dwz voor een Scheldepeil van 10,2 m TAW, dat overeenstemt met een 10.000-jaarlijkse stormdeining (95^{e} percentiel), zou het water de eerste gebouwen ongeveer na een uur bereiken en zouden er significante waterhoogtes kunnen worden opgetekend rondom verschillende gebouwen (variërend van 20 tot 50 cm en meestal afhankelijk van de lokale topografie van de site).

Daarom zal de periodieke inspectie van de dijken worden verbeterd om zo tijdig elke mogelijke dijkdegradatie te kunnen detecteren (dijkerosie in het bijzonder). Een meer frequente opvolging van afnemende dijkkruinhoogtes, te wijten aan het zetten van de dijk, is tevens voorzien. Ten slotte zouden de voormelde mobiele barrières die men van plan is te installeren aan de ingang van de gevoelige gebouwen tevens de gepaste bescherming moeten bieden tegen een dergelijk dijkfalen, evenals tegen door aardbevingen geïnduceerde on-site overstromingsrisico's veroorzaakt door het overlopen van de koeltorenbakken en door scheuren of grote lekken van verschillende niet-seismische watertanks en grote pijpleidingen (waarvoor de mogelijke gevolgen ruw geschat werden in het verslag van de exploitant, hoofdstuk 2, deel m.b.t. seismisch geïnduceerde overstromingsrisico's).

3.4. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit

3.4.1. Kerncentrale Tihange

De door de exploitant gekozen aanpak voor de herevaluatie van het overstromingsrisico voor de drie eenheden op de site van Tihange beantwoordt aan de door de exploitant bepaalde en door de veiligheidsautoriteit goedgekeurde methodologie.

Een gedetailleerde analyse van de verslagen van de exploitant en de daaropvolgende technische vergaderingen en inspecties door de veiligheidsautoriteit, hebben tot de conclusie geleid dat de voorgestelde aanpak en het eruit resulterende verbeteringsactieplan adequaat zijn.

De veiligheidsautoriteit identificeerde evenwel bijkomende vereisten en aanbevelingen om de robuustheid van de eenheden en de site verder te verbeteren tegen het risico op overstroming:

1. De exploitant dient een veiligheidsmarge te voorzien voor de eerste verdedigingslijn om zo adequaat de onzekerheden te dekken die verband houden met een 10.000-jaarlijkse overstroming (de muur van de perifere bescherming zou bijgevolg hoger moeten worden ontworpen dan het vloedniveau dat mogelijk is bij een 10.000-jaarlijkse overstroming).

2. Voor het overstromingsrisico zou een verdere verbetering van de noodplanstrategie en -organisatie, met inbegrip van de bijbehorende procedures, geïmplementeerd moeten worden tegen midden 2012.

3. De robuustheid van de huidig geïnstalleerde niet-conventionele middelen (NCM), d.i. het zogenaamde Ultimate Means Circuit (CMU), zou verder moeten worden verbeterd:
    - Gezien het CMU op dit ogenblik nodig is voor overstromingen die de referentieoverstroming van 2615 m³/s overschrijden (dwz. overstromingen met een terugkeerperiode van meer dan 100 tot 400 jaar), zou de exploitant specifieke maatregelen moeten bepalen die toepasbaar zijn op veiligheidsrelevante uitrusting (tests, onderhoud, inspecties, …).
    - De huidig geïmplementeerde alternatieve vermogensbronnen voor de I&C-systemen en noodverlichting zouden, daar waar nodig, verder verbeterd moeten worden en de toereikendheid van de beschikbare of herstelde I&C-uitrusting voor de veilige controle van de drie eenheden zou moeten worden nagegaan.
    - De technische karakteristieken van deze niet-conventionele middelen (NCM) zouden de ongunstige (weers)omstandigheden waaraan ze worden onderworpen tijdens de ganse werkingsperiode het hoofd moeten kunnen bieden. Wanneer dit niet in het ontwerp werd voorzien, moet er een gepaste bescherming of compenserende strategie worden ontwikkeld.

4. De robuustheid van de huidige geïmplementeerde noodplanstrategie en -organisatie zou verder moeten worden verbeterd m.b.t. de volgende aspecten:
    - Het overstromingsalarmsysteem, dat gebaseerd is op een rechtstreekse communicatie tussen de regionale dienst bevoegd voor de voorspelling van het debiet van het Maasbekken (SETHY, dat gebruik maakt van een specifiek voorspellingssysteem) en de kerncentrale (waarbij Tihange 2 het single point of contact is en verantwoordelijke is voor het verwittigen van Tihange 1 en Tihange 3), is een cruciale factor. Daarom zouden de robuustheid en de doeltreffendheid ervan verder moeten worden verbeterd, en in het bijzonder:
        - Zou het protocol tussen de kerncentrale Tihange en SETHY zo snel mogelijk moeten worden geformaliseerd.

        - Zou de exploitant regelmatig tests moeten uitvoeren op de beveiligde communicatiekanalen en de overgedragen gegevens (dwz on-line metingen en voorspellingen van rivierdebieten).
        - Zou de exploitant noodplanoefeningen moeten organiseren waarbij zowel de kerncentrale als het personeel van SETHY betrokken zijn.
        - Zouden de criteria die gebruikt worden om het intern noodplan te lanceren en de alarmfase en de bijbehorende acties van start te doen gaan ondubbelzinnig gedefinieerd moeten worden in de noodprocedures die van toepassing zijn.
    - Middelen voor het vervoer op de site van personeel en van uitrusting naar en binnen de eenheden of van een eenheid naar een andere, terwijl de site overstroomd is, zouden verder moeten worden geïmplementeerd en in aanmerking worden genomen in de noodplanstrategie.

5. Interne risico's die mogelijk geïnduceerd worden door de overstroming (brand, explosie) zouden moeten worden onderzocht en bijkomende maatregelen zouden, daar waar nodig, moeten worden getroffen (bv. omdat het automatisch brandblussysteem beschadigd wordt door een overstroming die hoger is dan de "referentieoverstroming"). Een mogelijk defect van het Ultimate Means Circuit (CMU) in geval van een brand die veroorzaakt werd, in het bijzonder door de afhankelijkheden wanneer het CMU verbonden wordt met het brandblussysteem (CEI), zou moeten worden onderzocht en mogelijke zwakke punten zouden moeten worden verholpen.

3.4.2. Kerncentrale Doel

De door de exploitant gekozen aanpak voor de herevaluatie van het overstromingsrisico voor de vier eenheden op de site van Doel beantwoordt aan de door de exploitant bepaalde en door de veiligheidsautoriteit goedgekeurde methodologie.

Een gedetailleerde analyse van de verslagen van de exploitant en de daaropvolgende technische vergaderingen en inspecties door de veiligheidsautoriteit, hebben tot de conclusie geleid dat de voorgestelde aanpak en het eruit resulterende verbeteringsactieplan adequaat zijn.

De veiligheidsautoriteit identificeerde evenwel bijkomende vereisten en aanbevelingen om de robuustheid van de eenheden verder te verbeteren tegen het risico op overstroming:

1. De technische kenmerken van de niet-conventionele middelen (NCM) die gebruikt kunnen worden in geval van een overstroming van de veiligheidsrelevante gebouwen (voor alle mogelijke oorzaken) zouden de ongunstige (weers)omstandigheden waaraan ze worden onderworpen tijdens de ganse werkingsperiode het hoofd moeten kunnen bieden. Wanneer dit in het ontwerp niet werd voorzien, zou er een gepaste bescherming of compenserende strategie moeten worden ontwikkeld.

2. Verbetering van de procedures na een aardbeving (I-QM-01): na een aardbeving moet er snel en visueel worden nagegaan of er overstroming door het overlopen van de koeltorenbakken (bv. te wijten aan een obstructie van de afvoer) aan de gang is, of nakend is. In dat geval moeten de CW-pompen snel worden gestopt.

3. Gezien er uit recente inspecties is gebleken dat er locaties zijn waar de dijken de minimale vereiste hoogte benaderen (Technisch Specificatiecriterium), zouden er regelmatiger inspecties van de dijkhoogtes moeten worden uitgevoerd (bv. om de twee jaar en minstens om de vijf jaar ipv om de tien jaar) om zo het risico op een overdadige overslag over de dijken te vermijden die wordt veroorzaakt door windgolven bij overstromingen die bij de ontwerpbasis werden voorzien (overslag over de dijken kan voorkomen met terugkeerperiodes van meer dan 300 jaar).

4. Extreme weersomstandigheden

Om een op zichzelf staand nationaal rapport te hebben voor de voorziene peer review wordt eerst de door de exploitant in zijn weerstandstestsverslag verstrekte relevante informatie in herinnering gebracht.
Aan het einde van dit hoofdstuk worden in een laatste paragraaf de conclusies en de evaluatie van de Belgische veiligheidsautoriteit vermeld (FANC en Bel V).

Sommige extreme meteorologische omstandigheden, zoals hevige regenval, extreme windsnelheden, tornado, bliksem, hevige sneeuwval of hagelbuien kunnen een impact hebben op de centrales van Doel en Tihange. Omwille van evidente geografische redenen zijn tropische cyclonen, tyfonen, orkanen, zand- of stofstormen en waterhozen hier niet van toepassing en werden ze dan ook niet in beschouwing genomen.
Geen van de geëvalueerde risico's kunnen een impact hebben op de veiligheidsfuncties van beide sites.

4.1. Hevige regenval

4.1.1. Herevaluatie van de hevige regenval die gebruikt werd bij de ontwerpbasis

Kerncentrale Tihange

De regenvalgegevens die in beschouwing werden genomen bij het ontwerp van de Tihange-eenheden waren gebaseerd op de observaties van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) in het station van Huy-Statte over de periode 1901-1930. Deze weersobservaties zijn van toepassing op de site van Tihange die op gelijke hoogte gelegen is. De zwaarste regenval die ooit werd opgetekend in deze dertigjarige periode bereikte 59 mm regen in een enkele dag.
Sindsdien heeft het Waals gewest IDF-curven (Intensiteit/Duur/Frequentie) evenals QDF tabellen (Hoeveelheid/Duur/Frequentie) voor elke gemeente gepubliceerd. De QDF-tabel voor de gemeente Hoei (Huy) wordt hieronder weergegeven.

Tabel 10: QDF-tabel voor de gemeente Hoei/Huy (extreme hoeveelheden regen gevallen gedurende een bepaalde tijd D voor de beschouwde terugkeerperiode T; waarden uitgedrukt in mm gevallen tijdens de periode D (1 mm = 1 liter/m²))

D/T	2 maanden	3 maanden	6 maanden	1 jaar	2 jaren	5 jaren	10 jaren	20 jaren	30 jaren	50 jaren	100 jaren	200 jaren
10 min	4,2	5,1	6,7	8,5	10,4	13,1	15,4	17,8	19,3	21,3	24,2	27,2
20 min	5,7	6,9	9,1	11,4	13,9	17,4	20,4	23,5	25,5	28,1	31,8	35,8
30 min	6,7	8,1	10,5	13,2	16,0	20,0	23,4	27,0	29,2	32,1	36,4	40,9
1 uur	8,6	10,2	13,1	16,2	19,6	24,5	28,4	32,7	35,4	38,9	44,0	49,4
2 uur	10,5	12,3	15,7	19,2	23,1	28,6	33,2	38,1	41,1	45,1	50,9	57,2
6 uur	13,7	15,9	19,8	24,0	28,5	35,0	40,4	46,1	49,7	54,4	61,2	68,5
12 uur	16,2	18,6	22,9	27,5	32,5	39,6	45,5	51,8	55,7	60,9	68,3	76,4
1 dag	19,6	22,2	27,0	32,2	37,7	45,7	52,2	59,3	63,7	69,4	77,8	86,8
2 dagen	24,4	27,4	33,0	38,9	45,3	54,6	62,1	70,3	75,3	82,0	91,6	102,0
3 dagen	28,3	31,7	37,8	44,5	51,6	61,8	70,2	79,2	84,8	92,2	102,9	114,4
4 dagen	31,8	35,5	42,2	49,4	57,1	68,5	77,4	87,2	93,3	101,4	113,0	125,5
5 dagen	35,0	39,0	46,1	53,9	62,2	74,1	84,0	94,5	101,1	109,7	122,2	135,7
7 dagen	40,9	45,3	53,4	62,1	71,5	84,9	96,0	107,9	115,3	125,0	139,1	154,2
10 dagen	48,9	54,0	63,3	73,3	84,1	99,5	112,3	125,9	134,4	145,6	161,8	179,2
15 dagen	60,9	67,0	78,1	90,1	102,9	121,3	136,5	152,9	163,0	176,3	195,6	216,4

20 dagen	72,0	79,0	91,7	105,4	120,1	141,3	158,7	177,4	189,0	204,3	226,4	250,2
25 dagen	82,5	90,3	104,5	119,8	136,3	159,9	179,4	200,3	213,3	230,4	255,2	281,8
30 dagen	92,5	101,1	116,8	133,6	151,7	177,7	199,1	222,1	236,4	255,2	282,5	311,7

In 1999 werd de digitalisering van de historische neerslaggegevens van Ukkel een feit. Het resultaat is een unieke neerslagreeks over een periode van honderd jaar (1898-1993). Op basis van die gegevens heeft de Universiteit Leuven (KUL) onderzoek gedaan naar trends in de regenval over de voorbije eeuw. De conclusie van het onderzoek was dat er geen noemenswaardige trend kon worden vastgesteld. Er werd bevestigd dat korte hevige regenbuien vooral in de zomermaanden voorkomen.

Verder onderzoek van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) naar de evolutie van het klimaat in België, gebaseerd op gegevens gaande tot 2007, bevestigt dat er geen opmerkelijke evolutie is van de neerslaghoeveelheden in korte periodes (van 1 uur tot enkele uren). Er wordt opgemerkt dat tijdens de maand augustus 2011 er tweemaal sprake was van extreme neerslaghoeveelheden op korte tijd. Uit de persberichten van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) naar aanleiding van deze gebeurtenissen worden volgende neerslagwaarden afgeleid:

- op 18/08/2011 werden in Bertem neerslaghoeveelheden geregistreerd van 36,6 mm in 1 uur en 70,1 mm in 24 uur;
- op 22/08/2011 werden in Ukkel neerslaghoeveelheden geregistreerd van 32,4 mm in 20 minuten, 38 mm in 1 uur en 44,3 mm in 24 uur; vergeleken met de regio Hoei (Huy) komt dit in de buurt van een hoeveelheid regen tijdens de piekperiode van een 20-tal minuten die eens in de honderd jaar voorkomt.

De beschikbare gegevens tonen aan dat de neerslagintensiteit niet significant is toegenomen sinds de industriële inbedrijfstelling van Tihange 1. De waarden die in beschouwing werden genomen bij het ontwerp zijn dus nog steeds van toepassing.

Kerncentrale Doel

De KMI-gegevens betreffende de maximale neerslag gedurende korte periodes, bekend bij ontwerp, staan vermeld in het veiligheidsrapport van de eenheden van Doel. De basis hiervoor zijn metingen uitgevoerd in de streek Antwerpen-Doel, in de periode 1901-1930. De maximale hoeveelheid neerslag tijdens één dag bedroeg 60 mm.

Tabel 11: QDF-tabel voor de gemeente Antwerpen (extreme hoeveelheden regen gevallen gedurende een bepaalde tijd D voor de beschouwde terugkeerperiode T; waarden uitgedrukt in mm gevallen tijdens de periode D (1 mm = 1 liter/m²))

D/T	2 jaar	5 jaar	6 jaar	10 jaar	25 jaar	30 jaar	50 jaar	100 jaar
1 min	2,0	2,8	3,0	3,3	4,0	4,1	4,5	5,0
5 min	7,8	10,2	10,6	11,8	13,9	14,3	15,5	16,9
10 min	9,2	12,1	12,5	14,1	16,4	16,9	18,2	20,1
20 min	10,9	14,4	15,0	16,6	19,5	20,1	21,7	23,8
30 min	12,0	15,9	16,5	18,4	21,6	22,2	23,9	26,3
40 min	12,8	17,2	18,1	20,7	26,0	27,1	30,6	35,9
1 uur	14,2	19,2	20,2	23,4	30,2	31,8	36,5	44,0
2 uur	16,7	22,7	23,9	27,8	35,8	37,6	43,2	52,2
4 uur	19,8	26,9	28,4	32,9	42,4	44,6	51,2	61,8
6 uur	21,9	29,7	31,3	36,3	46,9	49,2	56,6	68,2
9 uur	24,2	32,8	34,7	40,1	51,7	54,3	62,4	75,3
12 uur	26,0	35,2	37,1	43,0	55,5	58,3	67,1	80,8
18 uur	28,7	38,8	41,0	47,5	61,2	64,4	74,0	89,3
24 uur	30,7	41,6	44,0	51,0	65,8	69,1	79,4	95,8

Nieuwe IDF-curven voor Deurne die van 1967 tot 1997 gemeten werden, zijn beschikbaar in een recentere uitgave van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Uit een vergelijking met deze recentere gegevens in het kader van de tienjaarlijkse veiligheidsherziening, blijkt dat de gegevens bekend bij ontwerp omhullend zijn. Bijgevolg is de neerslagintensiteit die in beschouwing werd genomen bij het ontwerp nog steeds relevant.

4.1.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges m.b.t. hevige neerslag

Kerncentrale Tihange

Bij stortregen wordt het overtollige water afgevoerd via drainage naar de riolering.

De riolering in Tihange is onafhankelijk van het openbare rioleringsnet. Elke eenheid is uitgerust met een eigen drainagesysteem en evacuatieleidingen naar de Maas.
Specifiek voor het netwerk van eenheid 1 is dat het in twee delen is onderverdeeld. Het afvoersysteem van het gedeelte "oost-centrum" heeft dezelfde configuratie als het netwerk van de eenheden 2 en 3: een afvoerpijp die leidt naar de Maas op een diepte van enkele meters. Anderzijds zorgt het "westelijk" gedeelte van het netwerk van eenheid 1 voor de opvang van het afvoerwater in een drainagegebied in de nabijheid van het pompstation van de eenheid, van waar het naar het lozingspunt voor ruw water gepompt wordt.

Dit rioleringssysteem was ontworpen op basis van de hydrografieken die gebruikt worden voor het openbaar rioleringsnet. De berekeningsbasis in België is een neerslag van 120 liter per seconde en per hectare gedurende 20 minuten. Deze grafieken tonen tevens aan dat hevige regenval van meer dan 150 liter per seconde en per hectare (wat overeenkomt met 54 mm/h) ongewoon zijn gedurende een periode die lang genoeg is om de voorwaarden te creëren voor volledig gevulde rioolpijpen. Enkel een deel van het regenwater wordt door de riolering opgevangen, het andere gedeelte wordt tegengehouden door verschillende oppervlakken, verdampt of sijpelt door in de grond.

Toen de site van Tihange ontworpen werd, werd het rioleringssysteem berekend op een waarde van 150 liter per seconde en per hectare voor wegoppervlakken, parkings en andere geplaveide oppervlakken. Wanneer de drainagecapaciteit van het rioleringssysteem op de site wordt vergeleken met de IDF-gegevens, dan kan deze capaciteit enkel worden overschreden gedurende korte tijdsspannen, gaande van enkele minuten tot enkele tientallen minuten. In dit geval is er een klein volume stagnerend water dat geëvacueerd wordt in enkele minuten van zodra de regen afneemt.

Wanneer hevige stortregens samengaan met zeer hoog water in de Maas, dan blijft het rioleringssysteem op de site verder zijn rol spelen, op voorwaarde dat de vloed lager is of gelijk is aan de ontwerpbasisoverstroming (debiet van 2615 m^3/s, wat overeenkomt met een rivierniveau van 71,30 m).

Kerncentrale Doel

Bij stortregen wordt het overtollige water snel afgevoerd. Twee constructie-elementen spelen een belangrijke rol:

- Het rioleringsnet is erop voorzien onweersbuien te kunnen verwerken – conform de standaardwaarden van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI);
- De hydraulische ophoging van de site wordt gevormd door een 6 à 7 m dikke laag drainerende zandgrond.

Het rioleringsnet van de site in Doel is opgedeeld in vijf sectoren. Het regenwater wordt afgevoerd naar vijf putten (H-putten), verspreid over de site. In elke put staan twee dompelpompen (en één in reserve) die het water wegpompen voor lozing.

Het afvoerdebiet van het rioleringsnet werd herbekeken op basis van de rioleringsplannen en de karakteristieken van de afvoerputten en hun pompen. Dit gebeurde op basis van een hydraulische simulatie voor de evacuatie van 'composietregenbuien' voor verschillende terugkeerperiodes. Deze theoretische 'composietbuien' werden samengesteld op basis van de historische gegevens van het KMI. De evaluatie werd uitgevoerd voor periodes van regenval met duurtijd 6 uur en een terugkeerperiode 5, 10 en 20 jaar, en voor een periode van regenval met duurtijd 48 uur en terugkeerperiode 100 jaar.

Enkel voor de composietbui met terugkeerperiode 100 jaar kan tijdens 10-tallen minuten de afvoercapaciteit van de riolering onvoldoende zijn in de omgeving van enkele gebouwen van Doel 3 en 4. De overtollige hoeveelheid water is beperkt en wanneer de regenintensiteit afneemt zal de riolering dit water afvoeren.

4.1.3. Maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid tegen hevige neerslag te verhogen

Kerncentrale Tihange

De berekening is nog aan de gang om de drainagecapaciteit op elk punt van het rioleringssysteem te bevestigen. Afhankelijk van de resultaten en hun mogelijke gevolgen, zullen er verbeteringen geïmplementeerd worden.

Kerncentrale Doel

Gebaseerd op de evaluatie van de hevigste neerslagbuien met hun bijbehorende terugkeerperiode en de mogelijke beperkte gevolgen voor de site zijn er op dit ogenblik geen verbeteringsmaatregelen nodig.

4.2. Hevige wind

4.2.1. Herevaluatie van de hevige wind waarmee rekening werd gehouden bij het ontwerp

Uit de waarnemingen in België van 1840 tot 1949 blijkt dat de maximale windsnelheid slechts twee of drie keer 40 m/s overschreed. De maximale windsnelheid van 45 m/s werd gemeten in 1929 in Haren.

Meer recente gegevens m.b.t. de windsnelheid, windstoten of gemiddelde windsnelheid, werden verzameld sinds 1949.

De hoogst waargenomen windsnelheid die tot nu toe in België werd waargenomen, bedraagt 46,7 m/s (Bevekom, 1990).

De referentiewind die in de ontwerpbasis van zowel Tihange als Doel werd verrekend, is door de NBN-460-norm, die betrekking heeft op de effecten van wind op gebouwen, gedefinieerd als een uitzonderlijke maximumwind – gekenmerkt door een snelheid van 49 m/s op een hoogte van 25 m boven de bodem. Voor andere hoogten wordt de maximumwind berekend met een formule.

Bijgevolg is de windsnelheid waarmee rekening werd gehouden voor zowel Tihange als Doel nog steeds van toepassing.

4.2.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges tegen hevige wind

Weerstand van de gebouwen

De referentiewindsnelheid die in de ontwerpbasis voor beide sites vastgelegd werd op 49 m/s overeenkomstig de NBN-460 norm, moet worden vergeleken met de lokale windsnelheden die de laatste jaren werden opgetekend.

De metingen die in Bierset, dicht bij de site van Tihange, werden opgetekend, vermelden dat:

- Er volgens de meest recente gegevens (van 1993 tot 2010), geen waarden werden opgetekend boven het windsnelheidsrecord van Bevekom in 1990 (46,7 m/s);
- De maximale windsnelheid (windstoten) met een terugkeerperiode van 100 jaar 44 m/s bedraagt, en de maximale windsnelheid afneemt tot 34 m/s (windstoten) in meer afgeschermde plaatsen.

Daarenboven werd in de overstromingsevaluatiestudies van Tihange de hoogste gemiddelde windsnelheid (gemiddelde meting gedurende tien minuten) vastgesteld op 25 m/s (Bierset, 1985-2003).

Metingen dicht bij Doel tonen aan dat:

- Er volgens de meest recente gegevens (in Deurne van 1993 tot 2010) geen windsnelheden werden opgetekend die de maximale windsnelheid van Bevekom in 1990 (46,7 m/s) overtroffen;
- de maximale windsnelheid (snelheid van windstoten) met een terugkeerperiode van 100 jaar 41,5 m/s bedroeg in Oorderen /Antwerpen-haven en 41 m/s in Deurne.

Daarenboven werd er in het kader van de tienjaarlijkse periodieke veiligheidsherziening een maximale gemiddelde windsnelheid (gemiddelde meting gedurende tien minuten) van 20 m/s bepaald (Deurne, 2003- 2009).

Deze windsnelheden liggen beduidend lager dan de ontwerpbasiswindsnelheid.

Daarenboven is de NBN-460 een algemene bouwkundige norm, die voor alle gebouwen geldig is, maar m.b.t. veiligheidsgebonden gebouwen worden voor zwaardere belastingen berekend dan hevige wind (bv. extreme omgevingsbelastingen die een tornado veroorzaakt).

Verlies van elektriciteitsvoorziening

Een ander nevenverschijnsel van hevige wind is dat deze buiten de site de externe elektrische voeding, of op de site een hoogspanningspost kan treffen en bijgevolg aanleiding kan geven tot gedeeltelijke of gehele LOOP. Echter, de gebouwen werden ontworpen om deze situatie het hoofd te bieden.

Windgolven

Ten slotte kan hevige wind aanleiding geven tot aanzienlijke windgolven, waardoor golfoverslag over de dijken en andere beschermingsstructuren langs de sites mogelijk wordt, waardoor een lokale overstroming mogelijk wordt.

De universiteit van Luik heeft een onderzoek uitgevoerd naar golfhoogten die geïnduceerd werden door uitzonderlijk hevige wind over het wateroppervlak van de Maas langs de site van Tihange.

In de omgeving van de site van Tihange is de hoogste berekende golfhoogte 0,5 m bij een dagelijkse gemiddelde windsnelheid van 25 m/s; dit komt overeen met de hoogste waarde die ooit werd gemeten in Bierset. Voor de hoogste ontwerpbasiswindsnelheid, met name windstoten van 49 m/s, wat zou moeten overeenkomen met een gemiddelde wind van 34 m/s (dwz 2/3 van de snelheid van de windstoten, deze conservatieve waarde is van toepassing op kustgebieden, niet voor gebieden in het binnenland), is de theoretische golfhoogte ongeveer 0,7 m. De golfhoogte beschrijft de afstand van de golfpiek tot het golfdal. De golfpiek bevindt zich maar met de helft van de waarde boven het gemiddelde waterniveau en het golfdal bevindt zich op dezelfde afstand beneden het gemiddelde waterniveau. Daarom is voor windcondities die overeenstemmen met de hoogste ontwerpbasiswindsnelheid de theoretische golfpiek 0,35 m boven het gemiddeld waterpeil van de Maas langs de site van Tihange.

In normale omstandigheden is het niveau van de Maas 69,25 m langs de site van Tihange. Gezien de stenen dijken en de verhoogde oevers van de watertoevoerkanalen minstens 71,35 m hoog zijn, zouden golven van enkele tientallen cm geen problemen mogen opleveren. Indien de referentieoverstroming bereikt zou worden, met hevige wind die over de Maas waait, dan zouden de golven die hierdoor gevormd worden, kunnen leiden tot golfoverslag over de dijken en het water dat de site dan zou bereiken zou dan naar de Maas terugvloeien door het drainagesysteem en het waterniveau aan de rand van site zou dan slechts enkele centimeters bedragen. De veiligheidsgebonden uitrusting bevindt zich niet in de nabijheid van de rivier en er is dus geen risico dat deze kan overstromen.

De voortplanting van de golven in het watertoevoerkanaal en het risico op golfoverslag over de muur langs het kanaal werden tevens in overweging genomen. De talrijke pijlers en het feit dat golven zich stroomafwaarts de rivier voortplanten, perpendiculair op de richting van het watertoevoerkanaal, zorgt voor een significante afname van de golven. Bijgevolg wordt er voorzien dat enkel een referentieoverstroming gecombineerd met hevige wind op de Maas kan leiden tot golven van 10 cm in het watertoevoerkanaal. Hier is golfoverslag over de muur mogelijk, maar enkel in beperkte mate. Deze kleine hoeveelheden water op de site zouden dan opgevangen worden door de riolering of door infiltratie in de grond. Indien nodig kunnen de op de site aanwezige mobiele pompen worden gebruikt.

In Doel blijkt uit de tienjaarlijkse veiligheidsherziening dat bij een combinatie van een ongunstige windrichting met een hoog waterpeil, als gevolg van een zware storm, golfoverslag over de dijk mogelijk wordt. Dit werd reeds besproken in hoofdstuk 3 (overstroming).

4.2.3. Maatregelen die voorzien kunnen worden om de robuustheid tegen hevige wind te verhogen

Gezien de doeltreffendheid van de ontwerpbasis en de beschikbare veiligheidsmarges m.b.t. de verschillende scenario's zijn er geen bijkomende maatregelen nodig om de robuustheid van de eenheden op beide sites te verbeteren.

4.3. Tornado's

In België is het zeer onwaarschijnlijk dat de kracht van tornado's de klasse F2 op de originele Fujitaschaal zal overtreffen (1971). Dit komt overeen met windsnelheden van 50 m/s tot 70 m/s (180 tot 250 km/h).

Bij de tornado's die zich in België gedurende de periode 1880-1940 hebben voorgedaan, was de gebeurtenis die tot de maximale windsnelheid heeft geleid, te wijten aan een reeks tornado's afkomstig van Nederland tijdens de storm van 10 augustus 1925. Toen werd de windsnelheid geschat op 250 km/h lokaal.

Een andere zeer hevige tornado deed zich voor op 20 september 1982 in Léglise. De hoogste windsnelheid werd geschat op 250 km/h en de breedte van de tornado was ongeveer 50 m. Er was aanzienlijke schade: daken werden afgerukt en gebouwen werden vernietigd.

Een tornado met vergelijkbare schade kwam voor in Oostmalle op 25 juni 1967. Over het algemeen komen er jaarlijks tornado's voor in België, maar met minder hoge intensiteit.

Er worden geen systematische gegevens verzameld m.b.t. tornado's in België (vooral m.b.t. hun intensiteit).
Toch kan er evenwel worden opgemerkt dat:

- Er in Europa 4 tot 7 keer minder tornado's voorkomen dan in de VS;
- Er in België jaarlijks 4 tot 6 tornado's voorkomen;
- De meeste in België voorkomende tornado's zich bevinden tussen EF0 en EF2 (nieuwe Enhanced Fujitaschaal, 2007); zware tornado's van categorie EF3 zijn waarschijnlijk heel zeldzaam in België, maar de tornado in Hautmont in het noorden van Frankrijk aan de grens met België heeft, op sommige plaatsen, een intensiteit bereikt van EF4;
- Het niet zo is dat zich in de loop der jaren een bepaalde trend heeft afgetekend.
- Het evenmin zo is dat op bepaalde plaatsen in België meer tornado's voorkomen dan op andere plaatsen.
- De helft van de tornado's in België voorkomen in de zomer, maar ze kunnen ook in de winter voorkomen;
- Een tornado op Belgisch grondgebied in de meeste gevallen slechts enkele minuten duurt. De diameter van de wervels varieert van enkele meters tot enkele tientallen meters. De lengte van de schadesporen varieert van enkele tientallen tot enkele honderden meters.

4.3.1. Herevaluatie van tornado's gebruikt bij het ontwerp

De ontwerpbasis voor de structuren is gebaseerd op de hoogste windsnelheid van de beschouwde tornado.

Kerncentrale Tihange

De ontwerpbasistornado die in aanmerking werd genomen voor de Tihange 1-eenheid heeft een windsnelheid van 70 m/s (250 km/h). De weerstand van alle gebouwen tegen dergelijke windsnelheden werd geëvalueerd tijdens de eerste tienjaarlijkse periodieke veiligheidsherziening (1985). Er werden corrigerende acties getroffen, behalve voor de ventilatieschouw die niet bestand zou zijn, maar dit zou evenwel geen impact hebben op de veiligheidsuitrusting indien deze zou vallen.

Met het risico op projectielen die kunnen worden losgerukt door de tornado, werd geen rekening gehouden bij het ontwerp van het gebouw voor de elektrische hulpdiensten (bovenverdieping) en het veiligheidsdieselgeneratorgebouw (GDS). M.b.t. dit laatste gebouw, zorgen de gewapend betonnen muren, die bestand zijn tegen de ontwerpaardbeving (DBE), ervoor dat projectielen die door de tornado kunnen worden losgerukt niet kunnen leiden tot het verlies van de veiligheidsdieselgeneratoren.

Voor de eenheden van Tihange 2 en Tihange 3, evenals voor het DE-gebouw, heeft de ontwerpbasistornado waarmee rekening werd gehouden, een windsnelheid tot 107,3 m/s (385 km/h).

Deze ontwerbasistornado werd evenwel enkel in aanmerking genomen voor de "bunkergebouwen". De ventilatieschouwen van beide eenheden werden niet ontworpen om bestand te zijn tegen een dergelijke sterke wind, maar de impact van hun val werd geëvalueerd en hieruit bleek dat de "bunkergebouwen" ertegen bestand waren.

De kans dat een tornado met een windsnelheid van meer dan 70 m/s een locatie op de site van Tihange treft, wordt geschat op minder dan 5,8 10-7/jaar; dit komt neer op een terugkeerperiode van ongeveer 2 miljoen jaar. En toch werden de Tihange 2 en Tihange 3-eenheden en het DE-gebouw ontworpen, rekening gehouden met nog een hogere ontwerpbasistornado met een windsnelheid van 107,3 m/s (385 km/h). Deze ontwerpbasistornado wordt aanbevolen door de USNRC Regulatory Guide 1,76 voor de hoogste risicogebieden in de VS.

Kerncentrale Doel

Voor Doel 1/2 is de bescherming tegen tornado's gebaseerd op een windsnelheid van 70 m/s (250 km/h). Bij de eerste tienjaarlijkse periodieke veiligheidsherziening (1985) werd nagegaan of de structuren van categorie I (of de veiligheidsgebonden structuren) voldoende bestand waren tegen die referentiewindsnelheid. Ook werden het secundair containment, het GNS, BAR, GNH, de RM-lokalen, GEH, GMH en de schouwen geverifieerd.
Alle betrokken gebouwen in beton bieden ook voldoende bescherming tegen projectielen die door de referentietornado zouden worden losgerukt.

Voor Doel 3 en 4 is de bescherming tegen tornado's gebaseerd op een windsnelheid van 107,3 m/s (385 km/h). De bunkerstructuren, zijn bestand tegen tornado's en eventuele rondvliegende projectielen. Dit weerfenomeen werd eveneens in overweging genomen bij een aantal "niet-bunkerstructuren" van categorie I: delen van het GNH (doorvoerzones en opslagtanks voor de radioactieve gassen), delen van de OVG2 (verbinden de noodkoelvijver KVR met de bunker BKR).

Het SCG zelf is niet ontworpen om de kracht van een tornado te weerstaan. De containers in het SCG zijn wel bestand tegen de impact van een projectiel, tegen het instorten van het gebouw en tegen brokstukken afkomstig van het gebouw.

De veiligheidsgebonden gebouwen van Doel 1/2 zijn bestand tegen de referentietornado met een maximale windsnelheid van 70 m/s. Dat zich in Doel een tornado voordoet met hogere windsnelheden dan 70 m/s, is bijzonder onwaarschijnlijk. De kans dat een dergelijk tornado zich voordoet, is van de orde van 6 10-7/jaar. De kans dat een tornado met een windsnelheid >107 m/s de site van Doel treft, ligt nog lager, nl. ongeveer 3 10-8/jaar. Niettemin is bij Doel 3 en 4 toch uitgegaan van 107 m/s als referentiesnelheid.

4.3.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges m.b.t. tornado's

De globale gevolgen van een tornado voor de installaties, is afhankelijk van de intensiteit ervan op de Fujitaschaal:

- tornado met een windsnelheid tot 50 m/s (<180 km/h) veroorzaakt lichte schade: aan daken, schoorstenen, deuren, vensters, ontwortelde bomen,…;
- een tornado met een windsnelheid van 50-70 m/s (180 - 250 km/h) veroorzaakt belangrijke schade: losgerukte daken, omgooien en verplaatsen van auto's en vrachtwagens, zware schade aan gebouwen, verplaatsing van structuren met lichte funderingen;
- een tornado met een windsnelheid 70-107 m/s (250 - 385 km/h) veroorzaakt verwoestende schade: vernietiging van gebouwen, lanceren van projectielen zoals auto's en bomen,….

Over het algemeen is een tornado geen bepalende factor bij het ontwerp van gebouwen, vergeleken met andere externe gebeurtenissen zoals schokgolven of vliegtuigcrashes. Dit houdt in dat de impact van projectielen die worden losgerukt door tornado's over het algemeen gedekt worden door deze laatstgenoemde gebeurtenissen. Dit houdt tevens in dat de meeste gebouwen ontworpen zijn om bestand te zijn tegen tornado's die heviger zijn dan de ontwerpbasistornado.

Het spreekt ook voor zich dat niet alle gebouwen tegelijk zullen instorten eenmaal er en specifieke windsnelheid wordt overschreden. Daarenboven is de breedte van de ernstig verwoeste zone beperkt.

Kerncentrale Tihange

De globale gevolgen van een tornado op de site van Tihange, rekening gehouden met het worst-case parcours, worden in onderstaande tabel beschreven voor verschillende sterkten van de tornado.

Tabel 12: Mogelijke gevolgen afhankelijk van de sterkte van de tornado

Sterkte van de tornado	Tihange 1	Tihange 2 en Tihange 3
Windsnelheden tot 50 m/s	• verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) → voorzien in ontwerpbasis	• verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) → voorzien in ontwerpbasis
Windsnelheden van 50 tot 70 m/s	• verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) • verlies van primaire ultieme koudebron → overschakeling naar GDS of SUR	• verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) • verlies van primaire ultieme koudebron • Station black-out (SBO) (1^{e} niveau) → overschakeling naar BUS
Windsnelheden van 70 tot 107 m/s	• verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) • verlies van primaire ultieme koudebron → overschakeling naar GDS of SUR	• verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) • verlies van primaire ultieme koudebron • Station black-out (SBO) (1^{e} niveau) → overschakeling naar BUS

Onderstaande uitrustingen – die zich buiten de gebouwen, in open lucht bevinden - kunnen schade ondervinden van een tornado met een hoge intensiteit (met een windsnelheid van meer dan 50m/s):

- Een tornado die over of net buiten de site raast, kan leiden tot het verlies van de elektrische voeding buiten de site (LOOP), gezien deze schade kan toebrengen aan het Gramme-hoogspanningsstation, aan de leidingen die dit station met de kerncentrale verbinden, of aan het hoogspanningsstation van een of meerdere eenheden; deze situatie is voorzien in de oorspronkelijke ontwerpbasis van elke eenheid;
- Voor elke eenheid kunnen de motoren van de CEB-pompen (die voorzien in Maaswater) worden blootgesteld aan projectielen en dus defect raken, dit heeft geen ernstige gevolgen:
    - In Tihange 1 kan de GDS gekoeld worden door of het CEB-systeem, of door grondwater (afkomstig van twee van elkaar gescheiden putten die meer dan 100 m verwijderd zijn van de CEB-pompen en die beiden uitgerust zijn met twee aparte pompen). Het is zeer onwaarschijnlijk dat een tornado tegelijkertijd al deze uitrusting bereikt. Daarenboven is het nog onwaarschijnlijker dat er, hoewel beide putten enkel beschermd zijn dmv een golfplaatstructuur, die weinig weerstand biedt, een projectiel zou terechtkomen in de putten eenmaal deze structuur werd weggeblazen.
      De beschikbare pompen (CEB of grondwater) nemen de waterbevoorrading van de GDS over, maar deze moeten manueel heropgestart worden eenmaal ze verbonden zijn met het grondwaterbevoorradingssysteem.
      Daarenboven blijven de nooddieselgenerator (luchtgekoelde DUR) en het noodsysteem (SUR) volledig operationeel.
    - In Tihange 2 en Tihange 3 leidt het verlies van de CEB-pompen tot het verlies van de GDS. Toch blijven alle CEU-pompen (Maas- en grondwater) operationeel gezien ze "gebunkerd" zijn. Als resultaat hiervan, zal het noodgebouw (BUS) automatisch de eenheden in een veilige en stabiele toestand behouden. In het geval waarin de externe elektriciteitsvoorziening uitgevallen is, zullen de dieselgeneratoren die in de het BUS staan opgesteld, de elektriciteitsvoorziening van de uitrusting overnemen.
- De back-up veiligheidsdieselgenerator (GDR) die zich op de Tihange 2-eenheid bevindt, wordt gekoeld door een extern luchtkoelsysteem dat kwetsbaar is voor projectielinslag. Wanneer een

eenheid wordt voorzien van stroom door deze GDR, dan zal er slechts één dieselgenerator verloren zijn. Deze enkelvoudige faling is voorzien in de ontwerpbasis. Daarenboven blijven de nooddieselgeneratoren (DUR voor Tihange 1 en GDU voor Tihange 2 en Tihange 3) operationeel en behouden ze hun respectievelijke eenheid in een veilige toestand.

Kerncentrale Doel

Onderstaande tabel geeft de mogelijke gevolgen voor de Doel-eenheden weer:

Tabel 13: Mogelijke gevolgen afhankelijk van de sterkte van de tornado

Sterkte van de tornado	Doel 1/2	Doel 3 en Doel 4
Windsnelheden tot 50 m/s	Mogelijk gedeeltelijk of volledig verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) → voorzien in ontwerpbasis	Mogelijk gedeeltelijk of volledig verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) → voorzien in ontwerpbasis
Windsnelheden van 50 tot 70 m/s	▪ Verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) ▪ Verlies van ultieme koudebron (RW) ▪ Station black-out (SBO) (1e niveau) → Overschakeling naar GNS	▪ Verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) ▪ Verlies van ultieme koudebron (RN) ▪ Station black-out (SBO) (1e niveau) → Overschakeling naar BKR
Windsnelheden van 70 tot 107 m/s	▪ Buiten ontwerpbasis: → Een tornado is doorgaans niet het bepalende fenomeen voor ontwerp, vermoedelijk kunnen de gebouwen van D1/2 aan dergelijke tornado's weerstaan.	▪ Verlies van elektrische voeding buiten de site (LOOP) ▪ Verlies van ultieme koudebron (RN) ▪ Station black-out (SBO) (1e niveau) → Overschakeling naar BKR

Onderstaande uitrustingen – die zich buiten de gebouwen, in open lucht bevinden - kunnen schade ondervinden van een tornado met een hoge intensiteit (met een windsnelheid van meer dan 50m/s):

- Een tornado buiten de site kan de externe elektriciteitsvoorziening beschadigen, wat tot een gedeeltelijke of volledige LOOP kan leiden;
- Een tornado op de site kan de hoogspanningssubstations van de site beschadigen, wat tevens tot een gedeeltelijke of volledige LOOP kan leiden;
- De luchtkoelers van de 1ste-niveaudiesels van Doel 1/2 bevinden zich buiten op het dak van het GMH-gebouw en deze van de Doel 3 en 4 veiligheidsdieselgeneratoren bevinden zich buiten op het dak van het GEH-gebouw; de koelkringen zijn erop berekend dat de werking niet in gevaar komt door de maximale stormwind (rukwinden) die op de site van Doel kan voorkomen.
- De RW-koeltorens van Doel 1/2, die deel uitmaken van de eerste alternatieve ultieme koudebron, zijn niet bestand tegen een tornado;
- De RN-koeltorens van Doel 3 en 4, die deel uitmaken van de eerste alternatieve ultieme koudebron, zijn niet bestand tegen een tornado. Ze werden wel berekend om uitzonderlijke windstoten te weerstaan.
- De koelvijvers (KVR), die deel uitmaken van de tweede alternatieve ultieme koudebron voor Doel 3 en 4, bevinden zich in open lucht. Een tornado zou er de waterinventaris van een vijver kunnen aantasten, maar het is aan de andere kant niet mogelijk dat de inventaris van alle koelvijvers tegelijk verloren zou gaan.

4.3.3. Maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid tegen tornado's te verhogen

Het ontwerp van Tihange 2 en Tihange 3 enerzijds en van Doel 3 en 4 anderzijds houdt rekening met een ontwerpbasis tornado die in deze streek ongekend is.

Het ontwerp van Tihange 1 en Doel 1/2 houdt rekening met een ontwerpbasis tornado van lagere intensiteit maar die in Europa nog steeds heel zeldzaam is.

Aangezien het fenomeen niet het bepalende criterium is bij het ontwerp van de gebouwen, zullen belangrijke veiligheidsgebonden gebouwen ook zwaardere tornado's aankunnen dan de ontwerpbasis tornado.

Een zware tornado kan in extreme omstandigheden een gedeeltelijke of volledige LOOP tot gevolg hebben, al dan niet gecombineerd met een station black-out (SBO) (1ste niveau) en een verlies van een van de koudebronnen. Deze scenario's worden besproken in hoofdstuk 5.

Er zijn dus op geen van beide sites maatregelen nodig om de robuustheid van de installaties te verhogen tegen tornado's.

4.4. Bliksem

4.4.1. Herevaluatie van de bliksem als ontwerpbasis

In de periode 1901-1930, was het gemiddeld aantal onweersdagen 19,6 in de streek van Tihange (gegevens verzameld in Huy-Statte). Bliksems slaan in de omgeving van de Tihange site per jaar 1,76 keer per km² in. Deze waarde ligt hoger dan het gemiddelde voor België (jaarlijks 1,19 inslagen per km²).

Dicht bij Doel, toonden de meteorologische waarnemingen voor de periode 1901-1930 een gemiddelde van acht onweersdagen per jaar (gegevens verzameld in het station Antwerpen-Doel).

4.4.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges tegen bliksem

Conform de norm NBN C18-100 (Uitgave 1985) en zijn bijlage werd bij het ontwerp van de gebouwen een externe beveiliging tegen blikseminslag voorzien.

4.4.3. Maatregelen die kunnen worden voorzien om de weerstand tegen blikseminslag te verhogen

Vanaf 2009 is voor nieuwe gebouwen de nieuwe norm NBN EN (CEI) 62305 van toepassing.

Op dat ogenblik werd er een herevaluatie van het onweersrisico voor Tihange conform deze meest recente norm uitgevoerd. De doeltreffendheid van het aardingssyteem en de rechtvaardiging van de beschermingsvereisten of –aanbevelingen werden geëvalueerd.
Dit resulteerde in voorstellen voor technische wijzigingen die werden aangevat in 2010 en die hebben geleid tot een aardingssysteemproject dat nu wordt uitgevoerd (gespreid over 2011-2012-2013).
Periodieke testen van de aardingsvoorzieningen is tevens gepland in een jaarprogramma.

Een gelijkaardige herevaluatie wordt tevens uitgevoerd in Doel om zo de bescherming tegen blikseminslag te verhogen overeenkomstig deze norm.

4.5. Sneeuw

Laag en midden België tellen gemiddeld 15 sneeuwdagen per jaar, hoog België telt er 30 en in de hoogste gebieden kan dit oplopen tot 40 sneeuwdagen.

Periodes waarbij de grond met sneeuw bedekt is, kunnen significant variëren, afhankelijk van de winteromstandigheden. Meestal overschrijden deze periodes geen 3 tot 5 dagen. De periodes waarbij de grond met sneeuw bedekt is, zijn iets langer in de Ardennen, vooral dan in de hoogste gebieden.

Op 10 februari 1902 lag in Ukkel (midden België) een sneeuwtapijt van 35 cm dik. Op de Hoge Venen lag er op 9 februari 1953 1,15 m, de dikste sneeuwlaag ooit officieel gemeten in België (volgens klimaatgegevens KMI vanaf begin 20^{e} eeuw).

Sneeuwval komt relatief weinig voor in laag en midden België, waar zowel Doel als Tihange gelegen zijn.

Het veiligheidsrapport spreekt over een jaargemiddelde van 12 sneeuwdagen in de omgeving van Doel.

4.5.1. Herevaluatie van sneeuwval als ontwerpbasis

Bij het ontwerp van Tihange werd er rekening gehouden met een gemiddelde van 30 sneeuwdagen per jaar.

De Tihange 1 en Doel 1/2-eenheden waren ontworpen overeenkomstig de voorschriften van de NBN 15-1963 norm, terwijl Tihange 2, Tihange 3, Doel 3 en Doel 4 ontworpen waren overeenkomstig NBN B 15-103 (1977) met als titel "Concrete, reinforced concrete and pre-stressed concrete – Calculation". ("Beton, gewapend beton en spanbeton, Berekening").
Deze twee normen bevelen voor de streek rond Tihange en Doel (hoogte van 0 tot 100 m) aan dat de sneeuwlast niet meer mag zijn dan 0,35 kN/m² (NBN 15-1963) en 0,40 kN/m² (NBN B 15-103). Bijkomend bij deze last, moet er rekening worden gehouden met een puntlast van 2 kN over 1 m² of 1 kN over 0,2x0,2 m² op elk punt van het dak (waarbij de meest penaliserende van beide waarden wordt gekozen).

De huidige regelgeving voor nieuwe gebouwen (NBN EN 1991-1-3-ANB: 2007) is van toepassing sinds 1995 en gebeurde door de omzetting van de Europese normen (Eurocode 1) in Belgische regelgeving. De volgens deze regelgeving aanbevolen sneeuwlast voor de regio's van Tihange en Doel (hoogte van 0 tot 100 m) bedraagt 0,50 kN/m². De normen geven verder ook aan dat de sneeuw- en windbelasting niet gecumuleerd moeten worden. Het in rekening brengen van de windbelasting kan leiden tot een dimensionering die omhullend is voor de sneeuwbelasting.

Een praktijkcode die in 1995 werd uitgevaardigd, beveelt aan dat het dak – wanneer dit nodig wordt geacht – moet worden ontworpen om bestand te zijn tegen een last van 1,20 kN/m².

4.5.2. Evaluatie van de veiligheidsmarges m.b.t. sneeuwval

Bij de berekening van een dakstructuur is de sneeuwbelasting slechts één van de lasten die in rekening worden gebracht. De voorgeschreven normen zijn als minimale normen te interpreteren, ze kunnen m.a.w. verhoogd worden in functie van het specifieke project. Dit betekent dat de sneeuwbelasting niet noodzakelijk de dimensionering zal bepalen. Dit is het geval voor de bunkergebouwen, die veel grotere lasten kunnen dragen.
Er worden dus zelfs in geval van uitzonderlijke sneeuwval geen problemen verwacht voor de volgende gebouwen:

- Tihange site:
    - De reactorgebouwen van alle drie de eenheden;
    - Het BUS-gebouw (W), de BAN-opslagdokken (D en DE), en de grondwaterputten en luchttoevoerkanalen van de eenheden van Tihange 2 en 3;
- Doel site:
    - Het reactorgebouw van alle vier de eenheden;
    - De BAR, GNS en DGG-gebouwen van de eenheden van Doel 1/2;
    - De BKR, GNH, SPG, GVD en OVG2-gebouwen van Doel 3 en Doel 4.

Hetzelfde geldt voor het SCG-gebouw in Doel (droge opslag gebruikte splijtstof). De containers in het SCG zijn bestand tegen de inslag van een projectiel, tegen het instorten van het gebouw en tegen vallende brokstukken afkomstig van het gebouw. Sneeuwval betekent dus geen risico voor de veiligheidsfunctie van de containers.

Bij de "niet-bunkergebouwen" bestaat de kans dat de voorziene marges bij het ontwerp intussen verkleind zijn doordat een aantal lasten aan de bestaande dakstructuur zijn toegevoegd. Gezien er nu soms praktijkcodes worden toegepast en gezien de lasten waarmee rekening wordt gehouden ruimer zijn dan de sneeuwlast, zijn bepaalde gebouwen op de site bestand tegen sneeuwwaarden die significant hoger liggen dan de minimumwaarden die door de standaarden werden aanbevolen.
Rekening gehouden met een gemiddelde volumemassa voor sneeuw van 100 kg/m3 gecombineerd met een last van 0,35 kN/m² tot 0,40 kN/m², zijn de "niet-bunkergebouwen" minstens bestand tegen een sneeuwlaag van 30 cm.

Wat de weerstand van externe hoogspanningskabels betreft, is het zo dat door hevige sneeuwval de hoogspanningskabels, en dus ook de externe elektrische voedingen buiten de site (mechanisch) beschadigd kunnen geraken, of dat ze beginnen te oscilleren, in combinatie met de wind. Dit zou aanleiding kunnen geven tot een gedeeltelijke LOOP, maar deze situatie is voorzien in de ontwerpbasis.

4.5.3. Maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid tegen sneeuwval te verhogen

Alle gebouwen op beide sites zijn ontworpen voor sneeuwbelasting overeenkomstig de toepasselijke normen. Daarenboven is het zo dat, gezien er met ontwerpmarges werd gewerkt, een aantal gebouwen tegen een veel hogere sneeuwlast bestand is.

Bij "niet-bunkergebouwen" zou de toelaatbare sneeuwlast moeten beperkt worden tot 0,35 kN/m², namelijk een sneeuwlaag van 35 cm (waarbij geen rekening wordt gehouden met het gewicht veroorzaakt door de aanwezigheid van personeel).

Daarom wordt er in de monitoring- en interventieprocedures voor beide sites voorzien dat het dak van de "niet-bunkergebouwen" sneeuwvrij gemaakt moet worden zodra de sneeuwlaag 30 cm dik is.

4.6. Hagel

Hagel wordt beschreven als een kortstondig en lokaal meteorologisch fenomeen. Het werd niet expliciet opgenomen in de ontwerpbasis aangezien de effecten ervan omhuld worden door andere fenomenen.

Tijdens een hagelstorm worden hagelbollen beschouwd als projectielen die kunnen neerkomen op gebouwen of uitrusting. Het projectielrisico voor kerncentrales is voorzien in het ontwerp.

Er zijn geen specifieke maatregelen vereist om de robuustheid van de installaties op beide sites tegen hagel te verhogen.

4.7. Andere extreme weersomstandigheden

De volgende weersomstandigheden kunnen zich niet voordoen in België omwille van geografische redenen of omdat hun verloop zo traag is dat er gepaste acties kunnen worden ondernomen vooraleer het kritieke stadium wordt bereikt.

Extreme temperaturen

Ook met extreme temperaturen werd rekening gehouden bij de ontwerpbasis en bij het dimensioneren van de uitrustingen. De normen op dit vlak werden bepaald op basis van statistieken en in functie van de geografische ligging van de nucleaire site.

Bij een tienjaarlijkse herziening wordt telkens ook nagegaan of de waarden ondertussen geëvolueerd zijn en wanneer blijkt dat deze temperaturen gewijzigd zijn, dan wordt het ontwerp en de veilige werking van de relevante systemen en uitrusting herbekeken en worden de nodige aanpassingen aangebracht.

Een periode van extreme temperaturen of van extreme droogte is geen plots natuurverschijnsel. Het gaat om evoluties die tijdig voorspeld worden, wat meteen ook toelaat om tijdig actie te ondernemen. De kerncentrales beschikken trouwens over procedures om de veilige uitbating te garanderen in geval van hittegolf of vriestemperaturen.

Tropische cycloon, tyfoon, orkaan

Gezien de geografische ligging van de sites van Tihange en Doel werden deze natuurverschijnselen, in het kader van de weerstandstests, niet opgenomen bij de extreme weersomstandigheden.

Zandstormen en stofstormen

Gezien de geografische ligging van de sites van Tihange en Doel werden deze natuurverschijnselen, in het kader van de weerstandstests, niet opgenomen bij de extreme weersomstandigheden.

Waterhoos

Gezien de geografische ligging van de sites van Tihange en Doel werden deze natuurverschijnselen, in het kader van de weerstandstests, niet opgenomen bij de extreme weersomstandigheden.

4.8. Samenvatting van de belangrijkste door de exploitant voorgestelde resultaten

Gebaseerd op de informatie in de stresstestverslagen van de exploitant en de bijkomende informatie die door de exploitant werd verstrekt tijdens de technische vergaderingen en on-site inspecties, zijn de belangrijkste resultaten voor het onderwerp "extreme weersomstandigheden" de volgende:

De volgende extreme weersomstandigheden werden door de exploitant geherevalueerd: zware regenval, extreme windsnelheden, tornado, bliksem, hevige sneeuwval of hagelbuien. Andere extreme weersomstandigheden zijn niet van toepassing op Belgische kerncentrales (bv. orkanen, waterhozen, zandstormen…).

Voor de hevige neerslag op de site van Doel, werden er gedetailleerde metingen, inspecties en herstellingen van het on-site rioleringssysteem (vijf aparte netwerken) uitgevoerd in 2007-2009. Vervolgens werd er een hydrodynamisch model van het rioleringssysteem ingevoerd en gebruikt om de capaciteit ervan na te gaan voor verschillende regenintensiteiten en verschillende duurperiodes die overeenstemmen met terugkeerperiodes tot 100 jaar (afgeleid uit observaties van regenintensiteit in de periode 1967-1993). De capaciteit van het rioleringssysteem werd voldoende bevonden, behalve voor sommige punten van twee netwerken (H4 en H5) waar overstroming in de buurt van de Doel 3 en Doel 4-gebouwen niet kon worden uitgesloten. Zo zullen er mogelijke verbeteringen van het rioleringssysteem worden onderzocht en zal er indien nodig een actieplan worden bepaald.
Voor de hevige neerslag op de site van Tihange worden er gedetailleerde metingen, inspecties en herstellingen van het on-site rioleringssysteem (aparte netwerken per eenheid) uitgevoerd en deze zijn bijna voltooid. Vervolgens zal er een hydrodynamisch model van het rioleringssysteem worden ingevoerd en gebruikt om de capaciteit ervan na te gaan voor regenintensiteiten tot 175 l/s/ha (dwz die de intensiteit van 150 l/s/ha overschrijden waarmee bij het ontwerp rekening werd gehouden). Gebaseerd op deze resultaten, zullen mogelijke verbeteringen van het rioleringssysteem worden onderzocht.

Voor extreme windsnelheden en extreme temperaturen wordt er elke periodieke (10-jaarlijkse) veiligheidsherziening een herevaluatie van de meteorologische omstandigheden die gebruikt werden in de ontwerpbasis uitgevoerd. Wanneer deze meteorologische omstandigheden worden overschreden, dan wordt er een herevaluatie van de werkingscondities van mogelijk getroffen SSC uitgevoerd en, waar nodig, worden er wijzigingen doorgevoerd. Voor extreme koude- of hittegolven werden er speciale werkingsprocedures opgesteld in het bijzonder om de onbeschikbaarheid of verminderde werkingscondities van de veiligheidsgebonden SSC te vermijden.

Voor tornado's wordt minstens van de bescherming van het tweede niveau (d.i. de noodsystemen) verwacht dat ze tornado's kan weerstaan met windsnelheden tot 70 m/s (250 km/h) voor Doel 1/2 en Tihange 1 en tot 107 m/s (385 km/h) voor Doel 3 en Doel 4, evenals Tihange 2 en Tihange 3.

Voor bliksem is er een evaluatie van de bescherming van alle eenheden overeenkomstig de nieuwe normen NBN EN 62305 aan de gang. Het actieplan zou tegen eind 2013 moeten worden geïmplementeerd.

Voor sneeuw zal de dikte van de sneeuwlaag op de daken van de "niet-bunkergebouwen" gecontroleerd worden en zal de sneeuw worden verwijderd eenmaal de sneeuwlaag 30 cm dik is. Interventieprocedures zullen worden opgesteld voor beide sites om deze taken uit te voeren.

Voor hagel is het risico gedekt door andere soorten gebeurtenissen en zijn er geen specifieke maatregelen vereist om de robuustheid van de installaties te verhogen.

Een evaluatie van de veiligheidsmarges voor extreme weersomstandigheden is niet vereist door de stresstestspecificaties. Er is evenwel een evaluatie gevraagd van de zwakke punten en faalmodi of de cliff-edge effecten die tot onveilige omstandigheden op de site kunnen leiden. Zo werd de robuustheid van de centrale tegen extreme weersomstandigheden binnen de limieten van de ontwerpbasis beoordeeld. Voor tornado's werden er zwakke punten geïdentificeerd die of tot een verlies van de

elektrische voeding van buiten de site (LOOP) kunnen leiden, of tot een LOOP gecombineerd met een verlies van de bescherming van het eerste niveau, terwijl de bescherming van het tweede niveau ("bunkersystemen") beschikbaar zou blijven.

4.9. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit

De door de exploitant gekozen aanpak voor de herevaluatie van het risico verbonden met extreme weersomstandigheden beantwoordt aan de door de exploitant bepaalde en door de veiligheidsautoriteit goedgekeurde methodologie.

In de ontwerpbasis van de installaties werd met de meeste van de beschouwde risico's rekening gehouden en deze zullen dus de veiligheidsfuncties van de eenheden zeer waarschijnlijk niet aantasten.

Over het algemeen zijn de mogelijke gevolgen van extreme weersomstandigheden gedekt door andere ingrijpende gebeurtenissen (overstroming, vliegtuigcrash…) die tevens geherevalueerd worden als deel van het stresstestprogramma en kunnen leiden tot stroomverlies of tot verlies van de ultieme koudebronnen. Zo zullen de acties die gepland zijn om het hoofd te bieden aan deze andere risico's tevens leiden tot een hoger beschermingsniveau tegen extreme weersomstandigheden.

Gebaseerd op de evaluatie van de verslagen van de exploitant en de daaropvolgende technische vergaderingen en on-site inspecties, heeft de veiligheidsautoriteit bijkomende vereisten en aanbevelingen geïdentificeerd om zo de robuustheid van de installaties verder te kunnen verbeteren wanneer ze worden geconfronteerd met extreme weersomstandigheden:

1. De herevaluatie van de capaciteit van het rioleringssysteem (vijf gescheiden netwerken in Doel, gescheiden netwerken per eenheid in Tihange), waarbij gebruik wordt gemaakt van een gedetailleerd hydrodynamisch model moet zowel kortdurende hevige regenval als langdurige regenval dekken (95e percentiel), met terugkeerperiodes tot 100 jaar. Daarenboven moeten er voor de bepaling van een dergelijke 100-jarige regenval, observaties van regenintensiteiten over een voldoende lange tijdsspanne worden gebruikt, met inbegrip van de laatste observaties (bv. de uitzonderlijke regenval van 23 augustus 2011). Afhankelijk van de resultaten moeten er mogelijke verbeteringen van het rioleringssysteem worden gepland en het actieplan van de exploitant zal daar waar nodig overeenkomstig worden geactualiseerd.

2. Gezien het feit dat zeer zware tornado's de laatste jaren in de naburige landen (klasse EF4 op de enhanced Fujitaschaal) konden worden waargenomen, zou de robuustheid van de systemen van het tweede niveau van Doel 1/2 en Tihange 1 bevestigd moeten worden in geval van een buitenontwerptornado met windsnelheden van meer dan 70 m/s (250 km/h).

5. Verlies van elektrische stroomvoorziening en verlies van de ultieme koudebron

Om een op zichzelf staand nationaal rapport te hebben voor de voorziene peer review wordt eerst de door de exploitant in zijn weerstandstestsverslag verstrekte relevante informatie in herinnering gebracht.
Aan het einde van dit hoofdstuk worden in een laatste paragraaf de conclusies en de evaluatie van de Belgische veiligheidsautoriteit vermeld (FANC en Bel V).

De scenario's die in de volgende paragrafen worden besproken, beschrijven de effecten van het opeenvolgende verlies van stroomvoorzieningen of de diverse koudebronnen. Het gaat dus om situaties die steeds beperkender en steeds onwaarschijnlijker zijn. Ook het gecombineerde verlies van koudebronnen en stroomvoorziening komt aan bod.

Er wordt aangenomen dat deze gebeurtenissen zich op ieder ogenblik kunnen voordoen, ongeacht de werkingstoestand van de eenheden. De situaties waarbij het reactorkoelsysteem open is of met verlaagde inventaris werkt, zijn beperkt in de tijd. De kans dat zich een incident voordoet met de eenheid in één van deze toestanden is dan ook klein, en dit ongeacht de aard van het incident of van de combinatie van incidenten. Toch wordt deze situatie besproken bij de analyse van de diverse scenario's.

Achtereenvolgens worden de volgende gebeurtenissen onderzocht:

- verlies van externe stroomvoorziening (LOOP);
- verlies van externe stroomvoorziening en verlies van 1ste niveau interne stroomvoorziening (station black-out);
- verlies van externe stroomvoorziening en verlies van 1ste niveau en 2de niveau interne stroomvoorziening (volledige station black-out);
- verlies van de primaire ultieme koudebron;
- verlies van de primaire ultieme koudebron en de alternatieve ultieme koudebronnen;
- verlies van de primaire ultieme koudebron samen met verlies van de externe stroomvoorziening en de 1ste niveau interne stroomvoorziening;
- verlies van de primaire ultieme koudebron samen met verlies van de externe stroomvoorziening en van de 1ste niveau en 2de niveau interne stroomvoorzieningen;
- verlies van de primaire ultieme koudebron samen met verlies van de externe stroomvoorziening in combinatie met DBE-aardbeving.

5.1. Verlies van stroomvoorziening

De stroomvoorziening op de sites voedt zowel het stroomnet met de elektriciteit, geproduceerd door de kernreactoren, als de hulpsystemen, en dit zowel in een normale situatie als bij een incident of ongeval. Om aan de veiligheidsvoorschriften te voldoen, kunnen de installaties van de centrale van stroom worden voorzien door verschillende onafhankelijke bronnen, die elk de capaciteit hebben om de eenheden in een stabiele en gecontroleerde stilstand te brengen en te behouden.

Kerncentrale Tihange

De externe hoofdvoeding en de levering van de geproduceerde energie tussen elke eenheid van Tihange en het hoogspanningsstation in Gramme worden toevertrouwd aan:

- twee bovengrondse 380 kV-hoogspanningsleidingen voor Tihange 1;
- één bovengrondse 380 kV-hoogspanningsleiding voor Tihange 2;
- één bovengrondse 380 kV-hoogspanningsleiding voor Tihange 3.

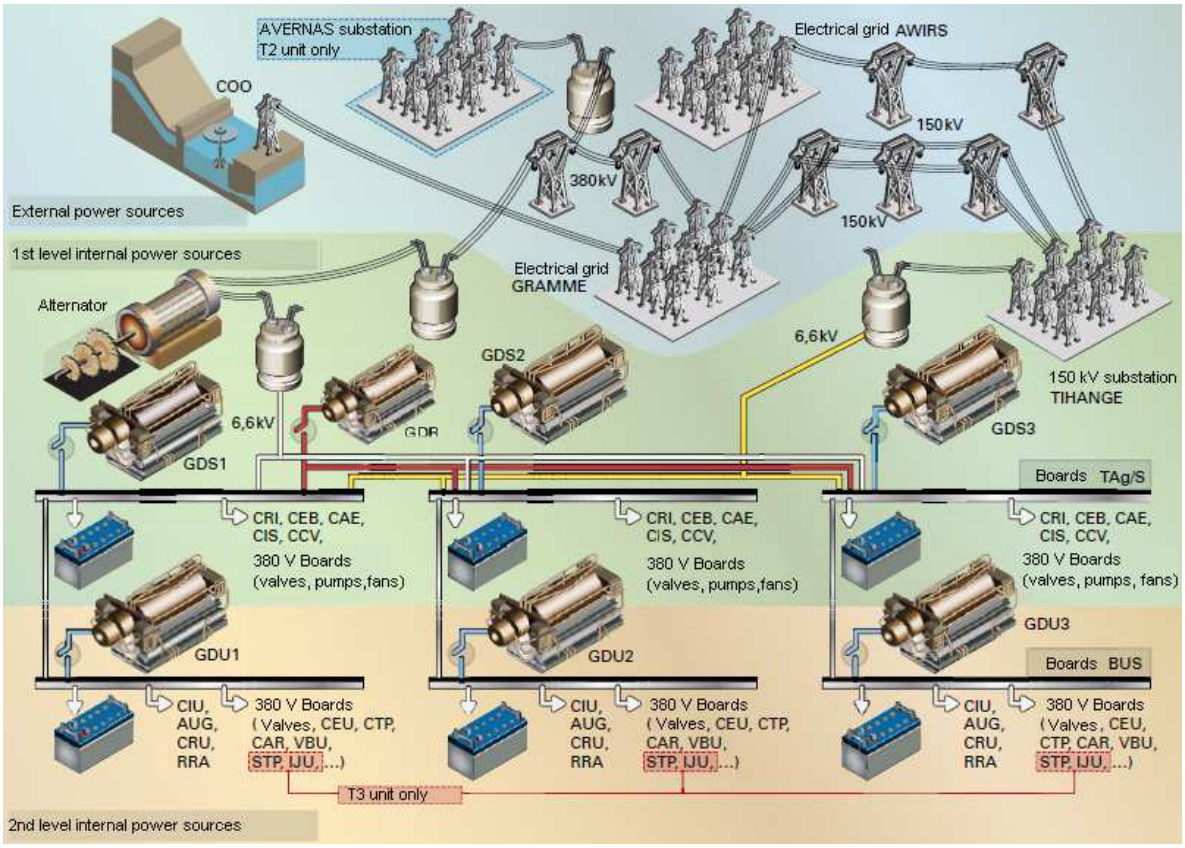
De tweede externe stroomvoorziening voor de drie eenheden wordt verzekerd door een hoogspanningsstation op de site met drie voedingen via twee verschillende (en onafhankelijke) trajecten: een dubbel traject vanaf het hoogspanningsstation (150 kV) in Gramme en een traject (150 kV) vanaf het station in Les Awirs. Elk van deze drie verbindingen kan individueel stroom leveren aan alle hulpsystemen die nodig zijn voor de gelijktijdige, stabiele en gecontroleerde stop van de drie eenheden. Elk van de drie verbindingen die Tihange met Gramme en Les Awirs verbindt, is uitgerust met eigen onafhankelijke controle- en veiligheidssystemen. De verbindingen tussen het 150 kV-hoogspanningsstation (op site) en de eenheden worden verzekerd door ondergrondse leidingen.

Het meest ingrijpende incident zou de instorting door verdraaiing zijn van een 380 kV-mast die op de dubbele voeding van het 150 kV-station zou vallen. In dat geval zouden de 380 kV-stroomvoorziening en de dubbele 150 kV-voeding verloren zijn. Dat is de belangrijkste reden voor de onafhankelijke stroomvoorziening vanuit Les Awirs, die waarborgt dat de hulpsystemen van de kerncentrale zelfs in dat geval gevoed worden.
Merk op dat Tihange 2 nog over een andere 150 kV-verbinding beschikt (die geen externe veiligheidsvoeding is) met het station in Avernas.

Anderzijds is brand het meest waarschijnlijke incident van interne oorsprong dat de twee onafhankelijke voedingen, namelijk: 1) de uitgangstransformator van de alternator (24 kV/380 kV) en de door de 380 kV of de alternator gevoede transformatoren en 2) de door de 150 kV gevoede transformatoren, zou kunnen treffen. Om verlies van de tweede voeding bij brand in de eerste te voorkomen, worden de twee voedingen fysiek gescheiden door een voldoende grote afstand en door brandmuren.

Bij normaal bedrijf van de eenheid (volledig vermogen) levert de alternator de elektrische energie aan de hulpsystemen van de centrale.
Bij een storing van de hoofdelektriciteitsvoorziening schakelt de reactoreenheid (tijdens vermogenswerking) automatisch over naar eilandbedrijf. De reactor wordt dan afgesloten van het extern net en de alternator voedt alleen zijn eigen hulpsystemen.

Indien het eilandbedrijf niet werkt, is een automatische overbrenging van de hoofdvoeding naar de back-uptransformatoren (150 kV) voorzien en worden de hulpsystemen ononderbroken van stroom voorzien.



Figuur 13 – Plan van de elektrische voedingen in Tihange 2 en 3.

Elke eenheid beschikt ook over back-updiesels die zijn ingedeeld in twee veiligheidsniveaus (1ste niveau veiligheidsdiesels en 2de niveau nooddiesels). Elk van deze veiligheidsniveaus kan op zich de reactor in een stabiele en gecontroleerde toestand houden. Bovendien kan een back-updiesel die gemeenschappelijk is voor de drie eenheden worden gebruikt in plaats van een 1ste niveau diesel voor elk van de eenheden.

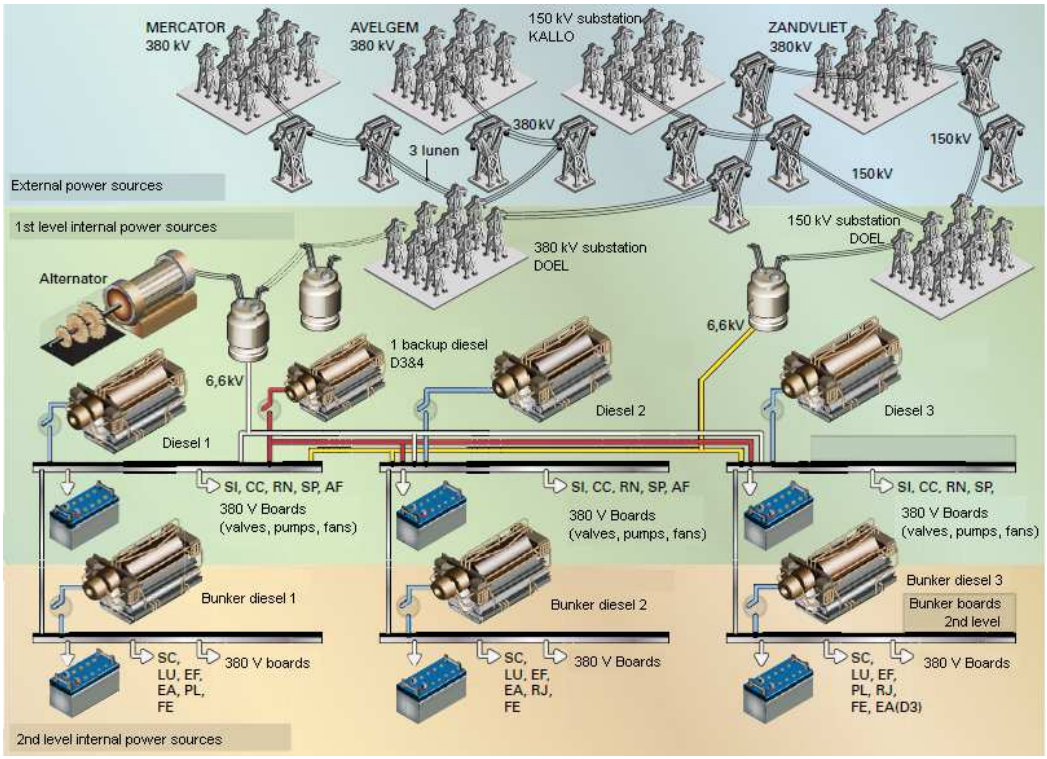
De 1ste niveau veiligheidssystemen worden gevoed door het extern net, maar bij een LOOP zorgen de 1ste niveau veiligheidsdiesels ervoor dat deze 1ste niveau systemen van stroom voorzien worden (2 diesels voor Tihange 1, 3 voor Tihange 2, 3 voor Tihange 3).

De 2de niveau noodsystemen worden gevoed door het extern net, maar bij een LOOP en verlies van de 1ste niveau veiligheidsdiesels zorgen de 2de niveau nooddiesels ervoor dat deze 2de niveau systemen van stroom voorzien worden (1 diesel en 1 turbo-alternator voor Tihange 1, 3 diesels voor Tihange 2, 3 diesels voor Tihange 3).

Kerncentrale Doel

De externe hoofdvoeding van de site van Doel wordt verzekerd door vijf 380 kV- hoogspanningslijnen (3 afkomstig van het station Mercator, 1 van het station Avelgem en 1 van het station Zandvliet) die gekoppeld zijn aan het 380 kV-station van Doel, waarmee de 4 eenheden via verschillende railstellen verbonden zijn.
De tweede externe voedingsbron van de vier eenheden wordt gevormd door een 150 kV-hoogspanningsstation met een dubbel railstel dat op de site van Doel is geïnstalleerd en zelf gevoed wordt door 2 hoogspanningslijnen, één afkomstig van het station Kallo en één van het station Zandvliet.

De hulpsystemen van Doel 1 en 2 ontvangen hun stroom alleen van het 150 kV-net wanneer alle eenheden zich in stilstand bevinden. De hulpsystemen van Doel 3 en 4 kunnen ook vanuit het 380 kV-net gevoed worden.



Figuur 14 – Plan van de elektrische voedingen in Doel 3 en 4.

Bij normaal bedrijf van de eenheid (volledig vermogen) levert de alternator de elektrische energie aan de hulpsystemen van de centrale.
Bij een storing van de hoofdvoeding schakelt de reactoreenheid (tijdens vermogenswerking) automatisch over naar eilandbedrijf. De reactor wordt dan afgesloten van het extern net en de alternator voedt alleen zijn eigen hulpsystemen.

Elke eenheid beschikt ook over back-updiesels die ingedeeld zijn in twee veiligheidsniveaus (1ste niveau veiligheidsdiesels en 2de niveau nooddiesels). Indien het eilandbedrijf niet werkt, stopt een noodstop de reactor en starten de 1ste niveau en 2de niveau diesels.

De 1ste niveau veiligheidssystemen worden gevoed door het extern net, maar bij een LOOP zorgen de 1ste niveau diesels ervoor dat deze 1ste niveau systemen van stroom voorzien worden (4 voor Doel 1/2, 3 voor Doel 3, 3 voor Doel 4).

De 2de niveau noodsystemen worden gevoed door het extern net, maar bij een LOOP zorgen de 2de niveau diesels ervoor dat deze 2de niveau systemen van stroom voorzien worden (2 voor Doel 1/2, 3 voor Doel 3, 3 voor Doel 4).

Hoogspanningsnet
Als beheerder van het Belgisch hoogspanningsnet is ELIA verantwoordelijk voor de exploitatie en het beheer van het externe hoogspanningsnet.
Het "Toegangscontract" tussen Electrabel en ELIA bepaalt dat, wanneer het net intact is, op de 380 kV- en 150 kV-aansluitingen van de kerncentrales van Tihange en Doel voldoende stroom beschikbaar moet zijn om de vitale hulpsystemen van de diverse eenheden te voeden.
Het "Aansluitingscontract" dat voor elke site is gesloten tussen Electrabel en ELIA beschrijft de specifieke overeenkomsten die ELIA moet nakomen voor de exploitatie en het onderhoud van het hoogspanningsnet. Het vermeldt ook de permanente beschikbaarheid van twee onafhankelijke voedingen voor de vitale hulpsystemen in Tihange en Doel - zoals voorgeschreven door de Technische Specificaties.

Bovendien vermeldt het "Aansluitingscontract" ter kennisgeving de reddingscode en heropbouwcode voor het Belgisch hoogspanningsnet. De reddingscode beschrijft de noodzakelijke door ELIA te beheren maatregelen om een ergere achteruitgang van het net te vermijden indien zich een probleem voordoet. De heropbouwcode beschrijft de door ELIA te beheren noodzakelijke maatregelen om het net te reconstrueren bij een uitval.

5.1.1. Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP)

Het scenario van volledig verlies van externe stroomvoorziening heeft betrekking op de totale uitval van het 380 kV-stroomnet, de uitval van het eilandbedrijf en het verlies van het 150 kV-stroomnet.

De LOOP wordt opgevangen door het ontwerp van de eenheden. De diverse automatische maatregelen staan borg voor de veiligheid van de reactor en de afvoer van de nakomende warmte: afschakeling van de reactor, opstarten van hulpvoedingswater en -koeling.
Wanneer het eilandbedrijf van de eenheid niet werkt en zolang de externe voeding niet hersteld wordt, worden de hulpsystemen die een nucleaire veiligheidsfunctie hebben en een veilige en gecontroleerde stop van de eenheid mogelijk maken, gevoed door interne bronnen.

Samengevat maakt het herstel van de stroomvoorziening met interne voeding het mogelijk om de volgende belangrijke functies te handhaven:

- toevoer van voedingswater voor de stoomgeneratoren door de twee motorpompen en een turbopomp (geen stroom nodig);
- injectie van boorhoudend water in de primaire kring om de contractie van water tijdens de koelfase te compenseren, en regeling van de reactiviteit van de kern om hem in een subkritische toestand te houden;
- handhaving van de koeling van de primaire pompafdichtingen;
- handhaving van de koeling van de kern door het stilstandskoelsysteem.

De koelpompen van de splijtstofdokken nemen via warmtewisselaars de koeling van de splijtstofdokken voor hun rekening.

Fysieke beschrijving van het scenario
Na de noodstop zullen de pompen van de primaire kring, die te krachtig zijn om door de diesels te worden ondersteund, stoppen. Het waterdebiet in de kern neemt snel af, en na een volledige stop van de pompen van de primaire kring zal natuurlijke circulatie door convectie plaatsvinden in het systeem. Deze natuurlijke circulatie voert de nakomende warmte af uit de kern. Merk op dat deze nakomende warmte geleidelijk afneemt na het stoppen van de reactor.
De reactorstop leidt tot de uitschakeling van de turbine en het sluiten van diens inlaatkleppen. Aangezien het gewone voedingswater verloren is, wordt een automatisch startsignaal naar het hulpvoedingswatersysteem gestuurd om de watertoevoer naar de stoomgeneratoren te waarborgen. Dit systeem, dat bestaat uit twee motorpompen, ondersteund door de 1ste niveau veiligheidsdiesels en een turbopomp die rechtstreeks aangedreven wordt door de stoom, geproduceerd bij de uitgangen van de stoomgeneratoren, levert een voldoende groot waterdebiet aan de stoomgeneratoren om de nakomende warmte van de reactor af te voeren. De stoom wordt via de afblaaskleppen vrijgegeven in de atmosfeer.

Indien het verlies van externe stroomvoorziening zich voordoet wanneer de eenheid zich niet in een toestand bevindt waarbij de restwarmte via de stoomgeneratoren kan worden afgevoerd, neemt het stilstandskoelsysteem (Tihange: RRA, Doel: SC) de koeling over. Het stilstandskoelsysteem wordt gevoed door de 1ste niveau veiligheidsdiesels.

5.1.1.1. Ontwerpvoorzieningen

Tihange 1
Er zijn **twee 1ste niveau veiligheidsdiesels** (GDS), elk met een vermogen van 3.552 kW (vermogen in continubedrijf), die door water van de Maas of door het grondwater gekoeld worden via

het ruw-watersysteem (CEB). Eén GDS is op zich voldoende om de nodige hulpsystemen te voeden. Deze redundantie is een aanvullend veiligheidselement. Deze generatoren zijn bemeten voor een veilige stop van de eenheid in het worst-case scenario.

De eenheid heeft ook een **2de niveau noodvoeding (GUS-turbo-alternator en DUR-diesel)** die niet strikt noodzakelijk is bij verlies van de externe stroomvoorziening. Deze stroombronnen verhogen echter de autonomie van de site (hoewel het gebruik van de 1ste niveau veiligheidsdiesels zou volstaan). Dit geldt ook voor de reservediesel (GDR).

Tihange 2 en 3

Er zijn **drie 1ste niveau veiligheidsdiesels** (GDS), elk met een vermogen van 5.040 kW (vermogen in continubedrijf), die door water van de Maas gekoeld worden via het ruw-watersysteem (CEB). Twee van de GDS zijn nodig om de eenheid in een stabiele en gecontroleerde toestand te brengen en te houden. Elke veiligheidsdiesel is fysiek onafhankelijk en elektrisch van de andere twee gescheiden zodat eventuele storingen of incidenten in één generator geen gevolgen hebben voor de andere twee.

De eenheden hebben ook een **2de niveau noodvoeding (drie GDU-diesels)** die niet strikt noodzakelijk is bij verlies van de externe stroomvoorziening. Deze stroombronnen verhogen echter de autonomie van de site (hoewel het gebruik van de 1ste niveau veiligheidsdiesels zou volstaan). Dit geldt ook voor de reservediesel (GDR).

Doel 1/2

Er zijn **vier 1ste niveau veiligheidsdiesels.**

- *Huidige situatie:* vier 1ste niveau diesels, elk met een capaciteit van 2.100 kW, gemeenschappelijk gebruikt door de twee eenheden. Deze diesels worden door luchtkoelers gekoeld en zijn ontworpen om de eenheid veilig te laten stoppen.
- Toekomstige situatie: de huidige **vier 1ste niveau diesels** zullen in 2012 worden vervangen door vier nieuwe 1ste niveau diesels met een capaciteit van 2.500 kW elk. De nieuwe diesels worden door luchtkoelers gekoeld en zijn bovendien aardbevingsbestendig (DBE). Bovendien is een **vijfde, identieke 1ste niveau diesel** gepland. Die kan één van de vier andere diesels vervangen in geval van niet-beschikbaarheid.

Er zijn ook twee 2de niveau nooddiesels met een capaciteit van 2.300 kW elk, die gemeenschappelijk gebruikt worden door de twee eenheden en gekoeld worden door luchtkoelers. Deze diesels horen bij het Gebouw Noodsystemen (GNS) en zijn ontworpen om alle hulpsystemen van stroom te voorzien die vereist zijn voor een veilige stop en om een veilige situatie te handhaven bij verlies van alle externe stroombronnen en 1ste niveau diesels. Deze 2de niveau diesels en de systemen die ze voeden, zijn onafhankelijk van de 1ste niveau diesels. Deze nooddiesels en de systemen die ze van stroom voorzien zijn beschermd tegen externe ongevallen.
Twee bijkomende hulpdiesels met een vermogen van 1.675 kW per groep staan in voor de voeding van systemen die bestemd zijn voor het waarborgen van de veiligheid van personen en uitrusting die niet gerelateerd is aan nucleaire veiligheid.

Doel 3 en 4

Elke eenheid beschikt over **drie 1ste niveau diesels** met een vermogen van 5.040 kW per groep. Zij worden door luchtkoelers gekoeld. Deze diesels zijn ontworpen om een veilige stop van de eenheid te verzekeren.
Een 1ste niveau reservediesel (phi diesel) met een vermogen van 5.040 kW wordt gedeeld door de eenheden Doel 3 en Doel 4. Deze is fysiek geïnstalleerd op de site van Doel 3 en wordt gekoeld door een luchtkoelsysteem. Deze diesel kan in minder dan 1 uur worden aangesloten om één van de 1ste niveau diesels van Doel 3 of Doel 4 te vervangen.

Elke eenheid beschikt over **drie 2de niveau diesels** met een vermogen van 2.240 kW per groep. Zij bevinden zich in de bunker van de eenheid en worden gekoeld door het water van de koelvijver die deel uitmaakt van de eenheid. Deze diesels zijn ontworpen om alle hulpsystemen in de bunker van stroom te voorzien die vereist zijn voor een veilige stop en om een veilige situatie te handhaven bij verlies van alle externe stroombronnen en 1ste niveau diesels. Deze nooddiesels en de systemen die ze van stroom voorzien zijn beveiligd tegen externe ongevallen.

Elke eenheid beschikt over twee bijkomende hulpdiesels met een vermogen van 800 kW per groep.

5.1.1.2. Autonomie

Tihange 1

De eenheid heeft een dieseltank met een nuttige capaciteit van 80 m³ per 1ste niveau diesel, goed voor een autonomie van 3,5 dagen voor elke generator zonder de tanks bij te vullen en bij maximale belasting.

Wanneer alleen de systemen gebruikt worden die nodig zijn om de eenheid te koelen bij een LOOP zonder andere incidenten, bedraagt deze autonomie 4,5 dagen rekening houdend met de koeling van de eenheid en de overgang van warme stilstand naar koude stilstand. Het gebruik van de aanvullende dieselbrandstof in een reserve-dieseltank (CVA B01Hc) geeft een autonomie van ongeveer 20 dagen.

Na beperking van de belasting tot de systemen die nodig zijn om de eenheid in koude stilstand te houden, resulteert de smeerolie beschikbaar voor de GDS en de veiligheidsvoorraad op de site (ongeveer 6.000 l voor de drie eenheden) in een autonomie van meer dan twee weken.

Tihange 2 en 3

De totale opslagcapaciteit van dieselbrandstof voor de 1ste niveau veiligheidsdiesels bedraagt:

- drie tanks met een nuttige capaciteit van 170 m³ per reservoir in Tihange 2;
- drie tanks met een nuttige capaciteit van 170 m³ per reservoir in Tihange 3;
- één tank met een nuttige capaciteit van 170 m³ voor de gemeenschappelijke reservediesel (GDR).

Er is ook een manuele noodverbinding met de dieseloverbrengingsleidingen van de nooddiesels die over een hoofdopslagtank met een capaciteit van 185 m³ beschikken.

Er is dan ook een autonomie van 7 dagen zonder de dieseltanks bij te vullen en bij maximale belasting van de twee veiligheidsdiesels per eenheid in het worst-case scenario.

Wanneer alleen de systemen gebruikt worden die nodig zijn om de eenheid te koelen bij een LOOP zonder andere incidenten, bedraagt deze autonomie ongeveer 15 dagen, rekening houdend met de koeling van de site van warme stilstand tot koude stilstand. Door de resterende dieselbrandstof in een reservedieseltank (CVA B08) te gebruiken, kan die autonomie bovendien worden verlengd tot 25 dagen.

Wat de smeerolie betreft, is elke diesel uitgerust met zijn eigen vul- en aftapsysteem en met een opslagtank van 2.000 liter. De autonomie bij maximale belasting bedraagt 7 dagen. Dit vergt een ingreep van een operator om het oliepeil in de dieselmotor elke 28 uur aan te passen tijdens de werking bij nominaal vermogen.

Doel 1/2

De 1ste niveau diesels hebben een autonomie van minstens 15 dagen.

De tanks van de 1ste niveau diesels hebben, overeenkomstig de Technische specificaties, een capaciteit die een autonomie van 15 dagen mogelijk maakt.
Als alle brandstof die beschikbaar is in Doel 1/2 in de 2de niveau diesels en hulpdiesels en in de WAB wordt gebruikt, wordt de autonomie 34 dagen.
In het oliecarter en de reservetanks is ruimschoots voldoende smeerolie voorradig.

Doel 3 en Doel 4

De 1ste niveau diesels hebben een autonomie van minstens 15 dagen.

De dieseltoevoer overeenkomstig de Technische specificaties maakt een autonomie van 23 dagen mogelijk in Doel 3 en een autonomie van 20 dagen in Doel 4.
Indien de brandstoftanks van de 1ste niveau diesels en de 2de niveau diesels volledig vol zijn is er een autonomie van 35 dagen voor Doel 3 en 28 dagen voor Doel 4.
In het oliecarter en de reservetanks is ruimschoots voldoende smeerolie voorradig.

5.1.1.3. Maatregelen die een langdurig gebruik van interne stroom mogelijk maken

Om de autonomie van de stroomvoorziening te verlengen, wordt hoofdzakelijk een beroep gedaan op de reserves dieselbrandstof en smeerolie die beschikbaar zijn: (1) in de gemeenschappelijke tanks, (2) in de diesels die niet beschikbaar of niet nodig zijn om een stabiele langdurige stop te handhaven en (3) in het magazijn op de site (overbrenging met interne of externe middelen). In deze situatie, met de eenheid in een stabiele gecontroleerde stop, stemt de vereiste hoeveelheid energie overeen met de energie die nodig is om de eenheid in een stabiele toestand te houden en niet om de eenheid in de stabiele toestand te brengen zoals tijdens de eerste uren na de aanvankelijke gebeurtenis. Meer in het bijzonder draaien de diesels met verminderde belasting, wat hun verbruik aanzienlijk verlaagt.

Voor Tihange dient te worden opgemerkt dat een gemeenschappelijke procedure voor de drie eenheden van toepassing is indien zich een aanhoudend probleem met het externe stroomnet, een onstabiele stroomvoorziening of een black-out voordoet. De toevoer van dieselbrandstof op de site gebeurt volgens een interne procedure. De toevoer van dieselbrandstof wordt geregeld door een contract dat voorziet in een levering op de site binnen een maximumperiode van 25 uur.

Voor Doel is op de site een tankwagen beschikbaar waarmee dieselbrandstof kan worden overgebracht van de ongebruikte dieseltanks van de 1ste niveau diesels, de reservediesel (phi), de 2de niveau diesels, de WAB en tussen de 4 eenheden. Zowel in Doel 1/2 als in Doel 3 en 4 moet pas na 1 tot 2 weken dieselbrandstof worden overgebracht. Dit is ruim voldoende om het vereiste personeel ter plaatse te krijgen.

5.1.1.4. Maatregelen die kunnen overwogen worden om de robuustheid van de installaties te vergroten

Enkele procedures en kleine organisatorische optimalisaties zorgen voor nog meer zekerheid. Indien bij langdurig verlies van externe stroomvoorziening geen nieuwe leveringen van dieselbrandstof en olie mogelijk zijn, zal het verbruik van de veiligheidsdiesels tot een minimum beperkt moeten worden. Daarom moet voor de eenheden van beide sites een procedure beschikbaar zijn die de niet-essentiële verbruikers omschrijft.

In Tihange 1 wordt de smeerolie voor het bijvullen in het carter van de diesels afgenomen uit de olievaten. De eenheden hebben ook een reservetank met olie voor de veiligheidsdiesels (GDS) (ongeveer 2.000 l). Er zal een analyse worden uitgevoerd om een minimumreserve in deze tank te handhaven. Bovendien zullen de procedures worden aangepast om op het bijvullen van olie voor de diverse diesels te anticiperen (van toepassing voor de site).

5.1.2. Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP) en verlies van 1ste niveau on-site back-upstroomvoorzieningen (station black-out)

Deze paragraaf beschrijft het verlies van externe stroomvoorziening en van de 1ste niveau interne elektrische voeding.

In dit scenario, 'station black-out' genoemd, wordt aangenomen dat de volgende situaties zich achtereenvolgens of gelijktijdig voordoen:
- verlies van externe stroomvoorziening (380 kV- en 150 kV-aansluitingen, zie begin hoofdstuk 5);
- falen van het eilandbedrijf;
- verlies van de 1ste niveau veiligheidsdiesels.

Opmerking: voor de coherentie van het scenario worden de reservediesels ook als niet-beschikbaar beschouwd.

In deze omstandigheden beschikken de eenheden over de 2de niveau noodsystemen om de reactor in een stabiele en gecontroleerde toestand te houden en de koeling van de splijtstofdokken te verzekeren.

5.1.2.1. Voorzieningen in het ontwerp en autonomie

In geval van LOOP en verlies van de 1ste niveau veiligheidsdiesels moet de noodzakelijke veiligheidsuitrusting nog ingezet kunnen worden. Dit kan gebeuren via:
- de reactoreenheden ter plaatse die niet uitgeschakeld zijn;
- de 2de niveau nooddiesels;
- door stoom aangedreven pompen;
- batterijen.

De vermelde autonomie heeft betrekking op de situatie waarbij elke eenheid haar eigen reserves moet aanspreken, wat overeenstemt met het worst-case scenario. In geval van een incident dat niet alle eenheden op de site treft, worden de totale reserves van de site via externe middelen gebruikt voor de getroffen eenheid (eenheden), wat de autonomie verlengt.

Tihange 1
Het noodsysteem (SUR) beoogt diverse doelstellingen, waaronder het in een stabiele en gecontroleerde stilstand brengen en behouden van de eenheid bij volledig verlies van externe en interne stroomvoorziening.

Het SUR-systeem omvat twee stroombronnen die binnen minder dan één minuut na het verlies van stroomvoorziening automatisch starten:
- de noodturbo-alternator (GUS) met een vermogen van 80 kW, beschikbaar indien minimaal één van de stoomgeneratoren operationeel is en die functioneert wanneer de temperatuur van het water in de primaire kring hoger is dan 180°C;
- de nooddiesel (DUR) met een vermogen van 288 kW (vermogen in continubedrijf), gekoeld door een water-luchtwisselaar.

Deze twee noodsystemen bevinden zich in het Gebouw Noodsystemen (BUR) en voeden de uitrusting die op 380V draait.

De capaciteit van de DUR-dieseltank (reservoir met 500 l in het BUR-gebouw) geeft een autonomie van 7,5 uur. Manuele overbrenging, gebruikmakend van de zwaartekracht, van dieselbrandstof uit de CVA B01Hc tank verlengt de autonomie tot meer dan 200 dagen, veel meer dan nodig is om de externe stroomvoorziening te herstellen - of om conventionele diesels te installeren en te starten.
Deze dieselbrandstoftank en de smeerolievoorraad (600 l) op de site staan borg voor een wekenlange autonomie.

Tihange 2 en 3
In de ontwerpbasis vergt dit type ongeval het tweede veiligheidsniveau, beheerd door het Gebouw Noodsystemen (versterkt gebouw dat BUS wordt genoemd). De noodsystemen (CUS) hebben als taak de centrale en het milieu te beschermen tegen de gevolgen van een ongeval van externe oorsprong, meer in het bijzonder het verlies van 1ste niveau veiligheidssystemen.

Het tweede veiligheidsniveau biedt diverse systemen, met als belangrijkste: AUG (noodvoedingswater voor stoomgeneratoren), CRU (noodkoeling), CIU (noodinjectie) en IJU (noodinjectie voor de dichtingen van de pompen voor Tihange 3; voor Tihange 2 wordt de integriteit van deze pompdichtingen verzekerd door de CRU).
De stroomvoorziening van deze systemen wordt toevertrouwd aan drie nooddiesels met een vermogen van 2.240 kW elk (vermogen in continubedrijf) die zich in het BUS van de eenheid bevinden en die gekoeld worden door water van de Maas of door grondwater (CEU). Deze generatoren zijn

bemeten om alle hulpsystemen in het BUS van de stroom te voorzien die nodig is om de eenheid in een stabiele en gecontroleerde stilstand te brengen en te houden in geval van verlies van alle externe stroombronnen en de 1ste niveau veiligheidsdiesels.

De opslagcapaciteit voor dieselbrandstof, vermeld in de technische specificaties, is voldoende groot om de twee nooddiesels (GDU) voor elk van de de drie eenheden gedurende minimaal 7 dagen op volle kracht te laten draaien indien het worst-case scenario zich voordoet. Door alleen de apparatuur te gebruiken die nodig is om een eenheid in koude stilstand te brengen en te houden, wordt de autonomie verlengd tot 50 dagen. Hiertoe wordt een beroep gedaan op de resterende dieselbrandstof in de CVA B08 tank die gemeenschappelijk is voor Tihange 2 en 3 en de dieselbrandstof in de 1ste niveau dieseltanks (via externe middelen).
Het smeerolieverbruik bedraagt 3,2 l/u bij maximaal vermogen, en de tank heeft een capaciteit van 1.000 l per GDU-diesel. Dit geeft een autonomie van ongeveer 13 dagen. Wanneer alleen rekening wordt gehouden met de systemen die nodig zijn voor de overgang naar een koude stilstand (en de daaropvolgende afname van het verbruik), geven de capaciteit van de olietank en de reservevoorraad een autonomie van minimaal 4 weken.

Doel 1/2
Er zijn ook twee 2de niveau nooddiesels met een capaciteit van 2.300 kW elk, die gemeenschappelijk gebruikt worden door de twee eenheden. Deze diesels horen bij het Gebouw Noodsystemen (GNS) en zijn ontworpen om alle hulpsystemen van stroom te voorzien die vereist zijn voor een veilige stop en om een veilige situatie te handhaven bij verlies van alle externe stroombronnen en 1ste niveau diesels.
De 2de niveau diesels worden gekoeld door gesloten water-luchtwisselaars die opgesteld zijn in het Gebouw Noodsystemen.

Doel 3 en Doel 4
Elke eenheid beschikt over drie 2de niveau diesels met een vermogen van 2.240 kW per groep. Die bevinden zich in de bunker van de eenheid. Deze diesels zijn ontworpen om alle hulpsystemen in de bunker van stroom te voorzien die vereist zijn voor een veilige stop en om een veilige situatie te handhaven bij verlies van alle externe stroombronnen en 1ste niveau diesels.
De 2de niveau diesels worden gekoeld door het LU-systeem dat zijn koelwater haalt uit de LU-vijvers. Zij zijn onafhankelijk van de primaire ultieme koudebron.

5.1.2.2. Analyse van verlies van externe stroomvoorziening (LOOP) en verlies van 1ste niveau on-site back-upstroomvoorzieningen

In de analyse hieronder wordt aangenomen dat slechts één eenheid getroffen is. Er zal met verschillende initiële toestanden rekening worden gehouden:
- stoomgeneratoren beschikbaar: de primaire kring is gesloten zodat de stoomgeneratoren gebruikt kunnen worden om de splijtstof af te koelen;
- open primaire kring: het reactorkoelsysteem is open (tijdens de stilstand van de eenheid) en de stoomgeneratoren zijn niet beschikbaar om de splijtstof af te koelen die zich nog in het open reactorvat bevindt;
- kern in splijtstofdokken: de eenheid is buiten bedrijf en de splijtstof is reeds uit de kern verwijderd en in de splijtstofdokken opgeslagen.

Stoomgeneratoren beschikbaar
Dit scenario is geïntegreerd in het ontwerp van alle eenheden. Voor de recente eenheden zorgen de 2de niveau noodsystemen ervoor dat de reactor in koude stilstand kan worden gebracht en gehouden. Het ontwerp van de oudste eenheden (Tihange 1, Doel 1/2) verschilt sterk van dat van de recente eenheden.

Tihange 1
De eenheid wordt in een stabiele en gecontroleerde tussentijdse stilstand gebracht, bekend als de terugvaltoestand.

De nakomende warmte van de kern wordt gekoeld door de stoomgeneratoren, gevoed door de hulpvoedingswaterturbopomp EAS. De hulpvoedingswatertank (EAS) heeft een voldoende grote autonomie om een manuele oplijning met het grondwatersysteem toe te laten.
De overgang naar een koude stilstand is niet mogelijk. GUS en DUR, die geen 6 kV-stroombronnen zijn, kunnen de stilstandskoelpompen (RRA) niet voeden. Daarom is men aangewezen op de stoomgeneratoren – waarbij een temperatuur van ongeveer 180°C in de primaire kring noodzakelijk is voor de werking van de turbopomp - zolang de 6 kV-stroomvoorziening niet hersteld is voor deze pompen.

Er is geen cliff-edge-effect voor dit scenario. Het grondwatersysteem heeft een autonomie van minimaal 30 dagen wanneer slechts één eenheid is getroffen. Deze autonomie dekt de tijd tot de aankomst van uitrusting of water van een andere eenheid of van buiten de site.
De beschikbare reserves van dieselbrandstof en smeerolie in de eenheid maken een autonomie van verscheidene weken mogelijk, wat ruim voldoende is om de tijd tot de aankomst van uitrusting of voorraden van een andere eenheid of van buiten de site te dekken.

Doel 1/2

Voor de afvoer van de nakomende warmte kan gerekend worden:

- in eerste instantie op de hulpvoedingswaterturbopomp (AFW) om de stoomgeneratoren te voeden. De pomp krijgt zijn water uit de hoger gelegen AFW tank en MW tank. Deze 180 m³ is voldoende om de eenheid 7 uur warm gestopt te houden.
- vervolgens, op het tweede niveau, op de toevoer van voedingswater van de stoomgeneratoren: het noodvoedingswatersysteem (EF). Dat heeft een voorraad van 400 m³ per eenheid, dit volstaat voor een autonomie van 20 uur. De EF-tank wordt bijgevuld door het brandbluswatersysteem (FE).

Na het koelen met het EF kan 7 dagen na de reactorstop het stilstandskoelsysteem (SC) in bedrijf worden gesteld om de nakomende warmte af te voeren. De SC-koelers en -pompen worden gekoeld door de 2de niveau tussenkoelkring (EC-kring). Deze koelt het EC water met behulp van luchtkoelers. Watertoevoer is dan niet meer nodig.

Er zijn twee 2de niveau diesels beschikbaar, maar één diesel volstaat voor het voeden van de verbruikers van beide eenheden. Met een realistisch verbruik en indien er minder noodzakelijke verbruikers worden gestopt (verwarming, ventilatie op halve kracht), volstaat de brandstofvoorraad voor ongeveer 5 dagen.

Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario. Er is genoeg watervoorraad aanwezig op de site om tot condities te komen waarbij een overschakeling op de EC, voor de koeling van de SC, mogelijk is. Na 5 dagen moeten de 2de niveau diesels opnieuw van diesel worden voorzien. Dit is meer dan voldoende tijd om diesel te halen op andere plaatsen op of buiten de site.

Tihange 2 en 3

De nakomende warmte van de kern wordt afgevoerd door de stoomgeneratoren, gevoed door de hulpvoedingswaterturbopomp EAA. Voorts kan een beroep worden gedaan op de 2de niveau toevoer van de stoomgeneratoren, het noodvoedingswatersysteem (AUG).
De 2de niveau noodsystemen zorgen ervoor dat de reactor in koude stilstand kan worden gebracht en gehouden. Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.

Het enige probleem dat zich kan voordoen, is dat de dieselbrandstof of de smeerolie voor de 2de niveau diesels opgebruikt raakt, wat pas na minimaal één week zal gebeuren. Deze autonomie dekt de tijd tot de aankomst van uitrusting of voorraden van een andere eenheid of van buiten de site.

Doel 3 en 4

Voor het afvoeren van de nakomende warmte is men in eerste instantie aangewezen op de hulpvoedingswaterturbopomp (AF) om de stoomgeneratoren te voeden. De pomp krijgt zijn water uit de twee hoger gelegen AF-tanks. Deze bevatten elk minstens 700 m³ water. Dit is

voldoende om de centrale naar stopcondities af te koelen en ze aansluitend nog minstens 16 uur te koelen met de stoomgeneratoren. Voor de afvoer van de nakomende warmte kan men verder gebruik maken van de 2de niveau voeding van de stoomgeneratoren, de Emergency Feedwater-kring (EF-kring).
Alle pompen en warmtewisselaars die nodig zijn tijdens het stabiliseren en afkoelen, worden gekoeld door het 2de niveau koelsysteem LU. De autonomie van de watertoevoer uit de LU vijvers bedraagt minstens 26 dagen.
De 2de niveau diesels in de bunker nemen de volledige stroomvoorziening voor hun rekening. Twee van de drie diesels volstaan voor het voeden van de verbruikers van de eenheid. In totaal is er dus voor minstens 10 dagen dieselbrandstofvoorraad aanwezig. Dit is meer dan voldoende tijd om diesel te halen op andere plaatsen op of buiten de site.

De 2de niveau noodsystemen zorgen ervoor dat de reactor in koude stilstand kan worden gebracht en gehouden. Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.

Open primaire kring

Tihange 1

In dit geval blijft het stilstandskoelsysteem van de reactor (RRA) aangesloten maar is het niet operationeel aangezien het op 6 kV-spanning werkt.
Als de primaire kring gesloten kan worden, voorziet de procedure voor ongevalsbeheer in de herinschakeling van de stoomgeneratoren door de primaire kring te laten opwarmen tot de functie van de EAS-turbopomp hersteld is. Het verdere verloop wordt hierboven beschreven (Stoomgeneratoren beschikbaar).

Als de primaire kring niet kan worden gesloten, kan nog altijd een feed-and-bleedcyclus worden uitgevoerd. In dat geval wordt koud water uit de B01Bi-tank naar de primaire kring gevoerd en wordt door een VBP-ventilator stoom afgezogen naar de schouw- en filtersystemen van de VBP.

Er is geen cliff-edge-effect voor dit scenario. Bijvullen uit de B01Bi-tank is voldoende om minimaal 72 uur te functioneren. Deze autonomie dekt de tijd tot de aankomst van uitrusting of water van een andere eenheid of van buiten de site. Via een externe verbinding kan een tankwagen boorhoudend water overhevelen voor het bijvullen van de tank B01Bi.

Met de bovengenoemde autonomie op dieselbrandstof en smeerolie is ruim voldoende tijd beschikbaar om op de aankomst van uitrusting of voorraden van een andere eenheid of van buiten te site te wachten.

Doel 1/2

De afvoer van de nakomende warmte van het koelsysteem van de geopende reactor gebeurt met behulp van SC-pompen die worden gevoed door de 2de niveau diesels. De koeling van de SC-pompen en koelers wordt overgenomen door het EC-systeem. Er dient dus geen watertoevoer voorzien te worden voor de eenheid met geopende RC-kring.
Als er rekening gehouden wordt met 1 eenheid met geopende RC-kring en 1 eenheid met stoomgeneratoren beschikbaar is, volstaat de brandstofvoorraad van de 2de niveau diesels voor meer dan 5 dagen. Als we bovendien de voorraad van de 1ste niveau diesels gebruiken voor het voeden van de 2de niveau diesels dan volstaat de brandstofvoorraad voor 1 maand.
De eenheid waarvan de primaire kring open is, wordt van in het begin gekoeld door beide EC-koelers. Er moet geen water toegevoerd worden. Zonder koeling gaat een volledig geladen open reactor in de meest conservatieve omstandigheden koken na 20 minuten (half been, volledige kern, 5 dagen na stop). De manuele oplijning van de EC-kring duurt 45 minuten. In dat geval zal de kern gedurende korte tijd koken maar de inventaris wordt op peil gehouden met de RJ-kring en de RWST.
Na 5 dagen moeten de 2de niveau diesels opnieuw van diesel worden voorzien. Dit is meer dan voldoende tijd om diesel te halen op andere plaatsen op of buiten de site.

Tihange 2 en 3

De 2de niveau systemen, gevoed door de GDU-nooddiesels, kunnen de reactor in koude stilstand houden (en de CTP-splijtstofdokken koelen).
Het enige probleem dat zich kan voordoen, is dat de dieselbrandstof en de olie voor de 2de niveau diesels opgebruikt raken, wat pas zal gebeuren na minimaal één week, zodat voldoende tijd beschikbaar is om op de aankomst van uitrusting of voorraden van een andere eenheid of van buiten de site te wachten.

Doel 3 en 4

De nakomende warmte van de reactor wordt afgevoerd door het SC-systeem en het LU-systeem, die allebei gevoed worden door de 2de niveau diesels.
Het dieselverbruik is lager dan in het scenario 'stoomgeneratoren beschikbaar'. Met de dieselvoorraad uit de 1ste niveau tanks kan de bunker meer dan 2 maanden doorgaan.
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario.

Kern in splijtstofdokken

Tihange 1

In dit scenario worden de splijtstofdokken niet gekoeld door de CTP-warmtewisselaars (de pompen van het gewone behandelingssysteem van de dokken CTP-P01Bd 1 en 2 worden niet ondersteund door de SUR). Er zal een analyse worden uitgevoerd van de mogelijkheid om de CTP-pompen in noodsituaties opnieuw te laten voeden door de SUR.
De splijtstofelementen in de dokken worden verder gekoeld door het water in het bassin. De verdamping begint ongeveer 40 uur na het verlies van de normale koelsystemen. In die omstandigheden moet worden vermeden dat de splijtstofelementen bloot komen te liggen (na minimaal twee weken zonder bij te vullen met water). Door binnen enkele uren de splijtstofdokken met water bij te vullen door middel van conventionele of niet-conventionele systemen kan de splijtstof onder water worden gehouden. Het suppletiewater komt van tank B01Bi en wordt middels de zwaartekracht of door pomp P04Bd (gevoed door de DUR) toegevoerd.
De huidige SUR-procedures zullen worden aangepast om in de bijvulling met water en afvoer van stoom te voorzien.

Doel 1/2

Tijdens een volledige ontlading wordt de kern opgeslagen in de PL-dokken van het Gebouw Nucleaire Hulpdiensten (GNH). De koeling van de PL-dokken wordt na verlies van de 1ste niveau systemen overgenomen door de 2de niveau PL-luchtkoeler, via 2 PL-pompen gevoed door de 2de niveau diesels.
Als er rekening gehouden wordt met 1 eenheid in warme stilstand en 1 eenheid waarbij de kern volledig ontladen is, dan volstaat de brandstofvoorraad in het Gebouw Noodsystemen voor 7 dagen.
Als men daarnaast de voorraad van de 1ste niveau diesels gebruikt voor het voeden van de 2de niveau diesels, dan volstaat de brandstofvoorraad voor ongeveer 40 dagen.
Een ongekoeld splijtstofdok begint pas na 15 uur te koken. De PL-kring wordt manueel uitgelijnd binnen 1,5 uur. Dat is veel korter dan de 15 uren die beschikbaar zijn.
De PL-kring is bovendien een gesloten kring waar geen water aan moet worden toegevoegd.
Na 7 dagen moeten de 2de niveau diesels opnieuw van diesel worden voorzien. Dat is ruim voldoende tijd om brandstof te halen van op andere plaatsen binnen of buiten de site.

Tihange 2 en 3

De 2de niveau systemen maken het mogelijk de reactor in koude stilstand te brengen en te houden en de CTP-bassins te koelen. De splijtstofdokken in het DE-gebouw kunnen gekoeld worden door water uit een grondwaterput in Tihange 2 of Tihange 3. De autonomie van het grondwater bedraagt minstens 30 dagen. Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.
Het enige probleem dat zich kan voordoen, is dat de dieselbrandstof en de olie voor de 2de niveau diesels opgebruikt raken, wat pas zal gebeuren na minimaal één week, zodat

voldoende tijd beschikbaar is om te wachten op de komst van uitrusting of water van een andere eenheid of van buiten de site.

Doel 3, en 4

De koeling van de splijtstofdokken in het Splijtstofgebouw blijft verzekerd. De nakomende warmte van de splijtstofdokken wordt afgevoerd door het PL-systeem en het LU-systeem, die allebei gevoed worden door de 2de niveau diesels.
Het dieselverbruik is lager dan in het scenario 'stoomgeneratoren beschikbaar'. Met de dieselvoorraad uit de 1ste niveau tanks kan de bunker meer dan 2 maanden doorgaan.
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario.

Verschillende eenheden van de site van Tihange getroffen

Het ongevalsbeheer voor dit scenario zal identiek zijn aan dat voor het geval waarbij slechts één eenheid van de site getroffen is, aangezien alleen de uitrusting en reserves eigen aan elke eenheid op korte termijn worden gebruikt (minimaal 72 uren in Tihange 1 en één week in Tihange 2-3).

Het belangrijkste verschil is het gebruik van grondwater door diverse eenheden, dat verderop zal worden besproken (verlies van primaire ultieme koudebron).
Bij verlies van externe stroomvoorziening gecombineerd met het verlies van de 1ste niveau diesels kunnen de eenheden Tihange 2 en Tihange 3 water van de Maas gebruiken, uitgezonderd voor de koeling van de DE-bassins. Tihange 1 is daarom de enige eenheid die op middellange termijn grondwater zal gebruiken als koudebron (autonomie van 30 dagen als slechts één eenheid getroffen is). Voor de middellange termijn zal ook moeten worden voorzien in het gebruik van grondwaterputten om de DE te koelen. Zelfs in deze gevallen zal de site altijd over een autonomie van verscheidene weken beschikken. Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.

Verschillende eenheden van de site van Doel getroffen

Doel 3 en 4 maken geen gebruik van systemen van Doel 1/2, dus die bijkomende uitval heeft geen effect. Wanneer de hele site getroffen is, moeten Doel 3 en 4 wel de watervoorraad van de LU-vijvers delen met alle eenheden. Deze voorraad is echter voldoende groot.
De dieselbrandstoftank van de WAB blijft steeds beschikbaar.
Andere getroffen eenheden zorgen niet voor bijkomende cliff-edge-effecten.

5.1.2.3. Batterijcapaciteit en autonomie

Tihange 1

De panelen die nodig zijn voor de werking van de SUR (inclusief die welke door batterijen gevoed kunnen worden), zullen opnieuw gevoed worden door de DUR en de GUS, wat er een autonomie aan geeft die minimaal even lang is als die van de SUR (tot verscheidene weken). De autonomie van de SUR-batterijen is in dit geval geen beperkende factor.

Tihange 2 en 3

De panelen die nodig zijn voor de werking van de BUS (inclusief die welke door batterijen gevoed kunnen worden), zullen opnieuw gevoed worden door de GDU, wat er een autonomie aan geeft die minimaal even lang is als die van de GDU (tot verscheidene weken). De autonomie van de BUS-batterijen is in deze gevallen geen beperkende factor.

Doel 1/2

Bij verlies van alle externe en interne 1ste niveau stroombronnen kan men nog altijd rekenen op de batterijen van de 1ste niveau diesels. De batterijen van de 1ste niveau systemen zijn in staat om de instrumentatie, de bediening en de signalisatie gedurende 4 tot 16 uur van stroom te voorzien.
De 2de niveau kringen, met inbegrip van hun diesels, zijn in dat geval volledig bedrijfsklaar. Daarom worden de batterijen van de 2de niveau diesels voortdurend opnieuw opgeladen met behulp van gelijkrichters. Zolang de 2de niveau nooddiesels bedrijfsklaar zijn, is de autonomie van deze batterijen onbeperkt en is de voeding van de instrumentatie en de bediening verzekerd.

Doel 3 en 4
Bij verlies van alle externe en interne 1ste niveau stroombronnen kan men nog altijd rekenen op de batterijen van de 1ste niveau diesels. De batterijen van de 1ste niveau systemen zijn in staat om de instrumentatie, de bediening en de signalisatie gedurende 3 tot 27 uur van stroom te voorzien.
De 2de niveau kringen, met inbegrip van hun diesels, zijn in dat geval volledig bedrijfsklaar. Daarom worden de batterijen van de 2de niveau diesels voortdurend opnieuw opgeladen met behulp van gelijkrichters. Zolang de 2de niveau nooddiesels bedrijfsklaar zijn, is de autonomie van deze batterijen onbeperkt en is de voeding van de instrumentatie en de bediening verzekerd.

5.1.2.4. Autonomie van de site voor degradatie van de splijtstof

Kerncentrale Tihange
Dit incident is een onderdeel van het ontwerp van de centrales. Met een reeks op de site beschikbare uitrusting en reserves kan de centrale meer dan 72 uur draaien zonder uitrusting of voorraden van buiten de site. Het incident zal overeenkomstig de vigerende procedures beheerd worden door het shiftpersoneel en door opgeroepen teams.

Kerncentrale Doel
Dit incident is een onderdeel van het ontwerp van de centrales. Er is voldoende water en dieselbrandstof op de site aanwezig voor meerdere weken. Er zijn standaardprocedures beschikbaar zodat het shiftpersoneel deze situatie kan opvangen.

5.1.2.5. Voorziene (externe) acties om degradatie van de splijtstof te vermijden

Tihange 1
Omdat dit scenario geïntegreerd is in het huidige ontwerp van Tihange 1 (bij volvermogen), is het (op korte termijn) niet nodig om externe middelen te gebruiken.
De eenheid beschikt over door de SUR gevoede uitrusting die voldoende is om een dergelijk incident op te vangen zoals hierboven wordt beschreven, en dus om de integriteit van de splijtstof te vrijwaren. In dit scenario wordt daarom voorrang gegeven aan het herstel van een stroombron (extern, GDS of GDR).
Bovendien kunnen de dokken worden bijgevuld met water uit de reserve in B01Bi. Andere noodsystemen maken het mogelijk brandbluswater naar de splijtstofdokken te voeren, hetzij onrechtstreeks via een brandkraan die de vultank van de dokken voedt, of rechtstreeks via een brandkraan die het bassin vult. In beide gevallen bouwt de dieselmotorpomp (ongeveer 450 m^3/u) of een mobiele motorpomp druk op in het brandblussysteem. De brandblussystemen van de drie eenheden kunnen met elkaar verbonden zijn.

Deze oplossingen kunnen toegepast worden lang vóór de temperatuur van het water het moeilijk maakt om het gebouw te betreden. Het duurt minimaal ongeveer 10 uur vóór het water kookt.

Tihange 2 en 3
Omdat dit scenario beschouwd werd als een onderdeel van het ontwerp van de eenheden, is het (op korte termijn) niet nodig externe middelen te gebruiken. De 2de niveau veiligheidssystemen maken het mogelijk de splijtstofdokken en het DE-bassin voor Tihange 3 te koelen.
In dit scenario wordt voorrang gegeven aan het herstel van de externe elektrische stroomvoorziening.

Kerncentrale Doel
Omdat dit scenario beschouwd werd als een onderdeel van het ontwerp van de eenheden Doel 1/2, Doel 3 en Doel 4, is het in deze omstandigheden niet nodig externe middelen te gebruiken.
In dit scenario wordt voorrang gegeven aan het herstel van de externe elektrische stroomvoorziening.

5.1.2.6. Maatregelen die kunnen overwogen worden om de robuustheid van de installaties te vergroten

Kerncentrale Tihange

In Tihange 1 worden bij het beheer van dit ongeval de nooddiesel DUR en de GUS als stroombron gebruikt. De nooddiesel moet drie keer per dag worden bijgevuld met dieselbrandstof. Deze bijvulling gebeurt manueel. Het gebruik van een automatisch systeem zal geanalyseerd worden.

Er zullen studies worden uitgevoerd om te onderzoeken of de pompen (CTP, RRA) in Tihange 1 opnieuw kunnen worden gevoed om een gesloten-kringkoeling voor de dokken en de primaire kring te handhaven (in omstandigheden waarbij de stoomgeneratoren niet beschikbaar zijn) in dit type van scenario.

De huidige procedures om de SUR te wijzigen, zullen worden aangepast om de bijvulling en het aflaten van stoom te verzekeren voor het scenario met de kern in de BAN D-dokken.

Om het verbruik van dieselbrandstof te beperken, moet voor alle eenheden in Tihange een procedure worden ontwikkeld die de niet-essentiële verbruikers in een noodsituatie omschrijft.
Bovendien moeten de procedures worden aangepast om te waarborgen dat de diverse diesels regelmatig met smeerolie worden bijgevuld.

Kerncentrale Doel

Indien men na 72 uren nog geen vooruitzicht heeft op duurzaam herstel van het extern net of levering van nieuwe dieselbrandstof worden alle niet-noodzakelijke verbruikers gestopt. De toepasselijke procedures worden hiervoor aangepast.

Bij langdurig verlies van het extern net en de onmogelijkheid om van buiten de site nieuwe dieselbrandstof te leveren is er voorzien om de op de site aanwezige dieselvoorraad naar de meest noodzakelijke en nog beschikbare diesels te verpompen. Dit is ten vroegste nodig na 15 dagen op Doel 1/2 en 20 dagen op Doel 3 en 4. Hiervoor wordt dan een beroep gedaan op onderhoudsmedewerkers die in die tijdspanne zeker beschikbaar zullen zijn. Deze maatregel en de uitwerking, met verwijzing naar de uitvoerders, moet in een organisatienota worden beschreven.
Er wordt voorzien in opleidingen voor het betrokken personeel.

5.1.3. Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP) en verlies van alle on-site back-up stroomvoorzieningen (volledige Station Black-out)

Deze paragraaf beschrijft het verlies van alle, interne of externe, 1ste niveau of 2de niveau stroombronnen.

5.1.3.1. Ontwerpvoorzieningen

In deze omstandigheden heeft de kerncentrale alleen batterijen, turbopompen en waterreserves die middels zwaartekracht of met niet-conventionele mobiele middelen kunnen worden verplaatst. In dit uitzonderlijke geval heeft de site een autonomie die varieert van enkele uren tot verscheidene dagen. Het scenario wordt dan ook gebruikt voor het bepalen van aanvullende niet-conventionele middelen om de eenheid op lange termijn in een stabiele en gecontroleerde toestand te houden.
In ieder geval wordt het volledig verlies van externe stroomvoorziening in eerste instantie beheerd door middel van ongevalsprocedures (hoge prioriteit voor de snelle beschikbaarheid van een dieselgenerator of een externe stroombron), en daarna volgens vooraf bepaalde criteria, vastgelegd in de SAMG.

Merk ook op dat Tihange 1 als enige eenheid over een noodturbo-alternator beschikt (GUS). Dit systeem, dat beschikbaar zal zijn zolang de stoomgenerator voldoende stoomdruk ontwikkelt, is een

belangrijke troef. De GUS kan bepaalde uitrusting, zoals de TPA-EAS batterijen, de injectiepomp voor de pompdichtingen en één van de noodluchtcompressoren, immers opnieuw van stroom voorzien.

5.1.3.2. Batterijcapaciteit en autonomie

Kerncentrale Tihange

Bij verlies van alle externe en interne elektrische voedingsbronnen kan een beroep worden gedaan op de batterijen, ontworpen om de stroomtoevoer naar de instrumentatie en de bediening en signalisatie te waarborgen gedurende een minimumperiode van 3 uur voor Tihange 1, 3 uur voor Tihange 2 en 3 uur voor Tihange 3, overeenkomstig de technische specificaties.
Op basis van metingen van het werkelijke verbruik (raming van de werkelijke capaciteit) begint het geleidelijke verlies van stroomvoorziening met betrekking tot de 1ste niveau batterijen na 4 bedrijfsuren in Tihange 1, 5 uren in Tihange 2 en 5 uren in Tihange 3 en kan dit proces een periode van meer dan 17 uur bestrijken in Tihange 1, meer dan 15 uur in Tihange 2 en meer dan 15 uur in Tihange 3.
De nooduitrusting heeft een geraamde batterijautonomie van meer dan 7 bedrijfsuren voor Tihange 1, meer dan 7 uren in Tihange 2 en meer dan 7 uren in Tihange 3 bij verlies van alle externe en interne elektrische voedingsbronnen.

Kerncentrale Doel

Bij gelijktijdig verlies van alle externe en interne voedingsbronnen, kan nog een beroep gedaan worden op de batterijen:

- In Doel 1/2 zullen de batterijen van de 1ste niveau systemen en 2de niveau systemen de voeding van de instrumentatie en de bediening en signalisatie gedurende 4 à 16 uur verzekeren.
- In Doel 3 en 4 zullen de batterijen van de 1ste niveau systemen en 2de niveau systemen de voeding van de instrumentatie en de bediening en signalisatie gedurende 3 à 27 uur verzekeren.

5.1.3.3. Autonomie van de site voordat degradatie van de splijtstof onvermijdelijk wordt

Er zal met verschillende initiële toestanden rekening worden gehouden:

- stoomgeneratoren beschikbaar: de primaire kring is gesloten zodat de stoomgeneratoren gebruikt kunnen worden om de splijtstof af te koelen;
- open primaire kring: het reactorkoelsysteem is open (tijdens de stilstand van de eenheid) en de stoomgeneratoren zijn niet beschikbaar om de splijtstof af te koelen die zich nog in het open reactorvat bevindt;
- kern in splijtstofdokken: de eenheid is buiten bedrijf en de splijtstof is reeds uit de kern verwijderd en in de splijtstofdokken opgeslagen.

Stoomgeneratoren beschikbaar

Met de AFW-turbopompen kan de eenheid afgekoeld en in warme stilstand gehouden worden. De AFW-regelventielen kunnen manueel bediend worden. De stoom uit de stoomgeneratoren wordt afgeblazen door middel van de stoomontlastingskleppen.
De belangrijkste beperking waarmee men te maken krijgt (cliff-edge-effect), is dat het water in de hulpvoedingswatertank opgebruikt is en dat de instrumentatie onbruikbaar wordt met het verlies van de batterijen.
Hieronder worden specifieke kenmerken en waarden voorgesteld:

Tihange 1

De hulpvoedingswatertank heeft een volume van 120 m³; dit laat een koeling gedurende maximaal 3 uur toe (totdat de stoomgeneratoren volledig leeg zijn) als de volledige station black-out (volledige SBO) zich plotseling voordoet. Er zijn niet-conventionele middelen beschikbaar om de watertoevoer naar deze tank te herstellen via het brandblussysteem. Dankzij de dieselmotorpomp van het brandblussysteem en de aankoppeling van slangen zal

deze tank binnen een zeer korte periode (30 minuten) bevoorraad kunnen worden. Met deze niet-conventionele middelen kan het cliff-edge-effect worden vermeden.
Er zullen echter haalbaarheidsstudies worden uitgevoerd om te onderzoeken of de capaciteit van de hulpvoedingswatertank kan worden verhoogd en een back-upvoedingswaterpomp kan worden toegevoegd ten einde de installaties robuuster te maken.
Wanneer de batterijen van de instrumentatie en de bedieningspanelen ontladen zijn (cliff-edge-effect), ongeveer 7 uur na het begin van het ongeval, valt de turbopomp uit en wordt geen voedingswater meer naar de stoomgeneratoren verpompt. Men kan verwachten dat de stoomgeneratoren droog zullen staan meer dan 12 uur na het verlies van de stroomvoorziening. Er worden alternatieve middelen overwogen om de controle en de bediening te herstellen en verlies van de koeling van de kern te vermijden. Hetzelfde geldt voor de handhaving van een minimale instrumentatie. Als men de werking van de turbopomp kan handhaven, kan eventueel de CMU worden aangewend om de stoomgeneratoren onder lage druk te voeden.

Doel 1/2

De AFW-tank heeft een capaciteit van 90 m³. Normale bijvulling van deze tank is niet mogelijk bij gebrek aan spanning, maar er kan nog wel omgeschakeld worden naar de tank MW1/2R2, in parallel, die dezelfde inhoud heeft. Op die manier kan de eenheid 7 uur in warme stilstand gehouden worden. Indien men de centrale versneld afkoelt met deze voorraden is de autonomie 1,5 uur.
Het is mogelijk om met brandweerslangen FE-water te injecteren in de MW-veiligheidscollector en via deze weg rechtstreeks naar de AFW-tank. Indien de brandweerdieselpomp nog beschikbaar is, zal deze gebruikt worden om water uit de TW-tank (1300 m³) te pompen tot in de AFW-tanks. Als back-up voor de voorgaande bijvulmogelijkheden is er een met diesel aangedreven pomp ter plaatse aanwezig waarmee rechtstreeks vanuit de grote MW tank (1500 m³) water naar de AFW tank kan verpompt worden. Als ultieme back-up kunnen de mobiele dieselpompen op de site worden gebruikt om water van eender welke beschikbare watervoorraad rechtstreeks naar de AFW-tank te pompen. Het is ook mogelijk om de voorraden aan te vullen met de FE-kring vanuit de LU-vijvers van Doel 3 en 4 (3 x 30.000 m³).
Tijdens de eerste 10 uren is er voldoende batterijspanning om alle parameters te controleren. Binnen deze periode moet een alternatieve voeding worden voorzien om alle parameters te kunnen blijven controleren om overvulling en leegkoken van de stoomgeneratoren te voorkomen.

Tihange 2 en 3

De afvoer van de nakomende warmte door de stoomgeneratoren, gevoed door de EAA-turbopomp, wordt beperkt door het beschikbare volume in de EAA-tank (680 m³ in Tihange 2 en 800 m³ in Tihange 3) als de tank niet wordt bijgevuld uiterlijk binnen ongeveer 17 uur na het begin van het ongeval voor Tihange 2 (23 uur voor Tihange 3). Indien de turbopomp operationeel blijft, kan uiteindelijk de CMU worden aangewend om de toevoer van voedingswater naar de stoomgeneratoren te verzekeren wanneer die bij lage druk werken.
Wanneer de batterijen van de instrumentatie en de bedieningspanelen ontladen zijn, vanaf naar schatting 6 tot 12 uur na het begin van het ongeval voor Tihange 2 (14 uur voor Tihange 3), moeten het toerental van de turbopomp en het debiet naar de stoomgenerator manueel worden geregeld. Op dit punt kan ook het waterpeil in de stoomgenerator niet meer worden afgelezen. De operator moet eerst een correct waterdebiet naar de stoomgeneratoren ingesteld hebben, anders kunnen die uiteindelijk uitdrogen of te veel water toegevoegd krijgen. Om een minimale instrumentatie te handhaven, wordt een beroep gedaan op niet-conventionele middelen.

Doel 3 en 4

Er is 2 x 700 m^3 watervoorraad in de AF-tanks, wat voldoende is voor meer dan 8 uur. Daarna kunnen de MW-tanks (2.000 m³) manueel worden uitgelijnd. Ten slotte worden de LU-vijvers (3 x 30.000 m³) manueel opgelijnd op de AF-collector. Op die manier is er voldoende voorraad voor tientallen dagen. Als ultieme back-up kunnen de mobiele dieselpompen op de

site worden gebruikt om water van eender welke beschikbare watervoorraad rechtstreeks naar de LU-vijvers te pompen.
Als helemaal geen stroom beschikbaar is, zullen de batterijen gedurende minimaal 4 tot 6 uur de instrumentatie en de bedieningssystemen voeden.
Tijdens de eerste 3 uren is er voldoende batterijspanning om alle parameters te controleren. Binnen deze periode moet een alternatieve voeding worden voorzien om alle parameters te kunnen blijven controleren om overvulling en leegkoken van de stoomgeneratoren te voorkomen.

Primaire kring open

Hier is sprake van een groot aantal configuraties van de primaire kring die sterk verschillen volgens de restwarmte en de waterinventaris van de primaire kring (met inbegrip van het volume van de bassins van het reactorgebouw). Het worst-case scenario is de eerste stap die "mid-loop" of "verlaagde inventaris" van de stilstand van een eenheid wordt genoemd.
Na verlies van alle voedingsbronnen verwarmt het water in de primaire kring in minder dan een half uur tot een uur tot het kookpunt, waarna de geproduceerde stoom in het reactorgebouw wordt vrijgegeven. De afgifte van stoom kan de aanzet geven tot een geleidelijke drukverhoging in het containment en de gravitaire toevoer blokkeren als niets gedaan wordt om de druk in het containment te verlagen.
Hieronder worden specifieke kenmerken en waarden voorgesteld:

Tihange 1

In Tihange 1 werkt de toevoer middels zwaartekracht uit tank B01Bi doeltreffend en kan hij het blootleggen van de kern met één dag vertragen. Als geen maatregelen worden genomen, zal de splijtstof na meer dan één dag beschadigd zijn.

Een VBP-ventilatie (ondersteund door GDS 1ste niveau generatoren en door de DUR) voorkomt drukontwikkeling in het containment door de ontwikkelde warmte af te voeren. In noodsituaties kan die drukontwikkeling ook vermeden worden door het containment gedeeltelijk te openen. Aanvullende strategieën om overdruk in het containment te beheren, zullen worden onderzocht.

Doel 1/2

Het verdampte water wordt aangevuld door het ledigen middels zwaartekracht van de RWST in de primaire kring. Door het bijvullen van het primair systeem zal ten vroegste na 3 dagen de druk in het reactorgebouw gestegen zijn tot de bezwijkdruk. Tegen dan moet men de sproei in het reactorgebouw in dienst nemen of het reactorgebouw op een gecontroleerde wijze afblazen.

Tihange 2

In Tihange 2 werkt de toevoer middels zwaartekracht uit de CTP-tanks doeltreffend en kan hij het blootleggen van de kern met acht uur vertragen. Door het bijvullen van de CTP-tanks via verschillende waterbronnen (gedeeltelijke drainage van de bassins of andere alternatieve middelen) kan hun autonomie worden verlengd tot herstel van een conventionele koelbron.

Tihange 3

In Tihange 3 is bijvulling middels zwaartekracht uit de CTP-tanks niet mogelijk omwille van de positie van de tanks (lager dan de primaire kring). Als geen maatregelen worden genomen, zal de splijtstof na drie uur beschadigd zijn. Er is een haalbaarheidsstudie gepland voor een alternatieve bijvullingswijze.
Door het bijvullen van de CTP-tanks via verschillende waterbronnen (gedeeltelijke drainage van de bassins of andere alternatieve middelen) kan hun autonomie worden verlengd tot het herstel van een conventionele koelbron.

Doel 3 en 4

Het verdampte water wordt aangevuld door het ledigen middels zwaartekracht van de RWST in de primaire kring. Ten vroegste na 3 dagen zal de druk in het reactorgebouw gestegen zijn

tot de bezwijkdruk. Tegen die tijd moet de sproei in het reactorgebouw in bedrijf gesteld worden.

Kern in splijtstofdokken

Bij volledig verlies van alle externe en interne elektrische voedingsbronnen worden de splijtstofdokken niet gekoeld door zijn warmtewisselaars.
De koeling van de splijtstof wordt in stand gehouden door verdamping en suppletiewater, dat na enkele uren wordt ingezet. Theoretisch zal het water na verscheidene uren beginnen te verdampen als de dokken niet met koud water wordt bijgevuld en zal het slechts enkele dagen duren voordat de splijtstofelementen worden blootgelegd (cliff-edge-effect) als de transferbuis afgesloten is en geen maatregelen worden genomen om de toestand te corrigeren.
Het betreden van het gebouw zal uiteindelijk bemoeilijkt worden door de aanwezigheid van stoom. Eventuele werkzaamheden in het gebouw moeten dan ook zo snel mogelijk worden uitgevoerd. Het openen van een ontlastingspunt (deur, trap enz.) kan overdruk in het gebouw voorkomen.
Het bijvullen met water kan binnen de bovengenoemde periodes gebeuren. Gelet op de vele middelen die in de eenheden aangewend kunnen worden om water bij te vullen, is het cliff-edge-effect zeer onwaarschijnlijk.

Verschillende eenheden van de site van Tihange getroffen

De bovenstaande analyse werd onafhankelijk uitgevoerd voor alle eenheden van Tihange. Als verschillende eenheden gelijktijdig zijn getroffen, zijn er geen bijkomende beperkingen omdat, op korte termijn, elke eenheid gebruik maakt van zijn eigen middelen en reserves.

Verschillende eenheden van de site van Doel getroffen

Als in Doel de volledige site getroffen is, heeft dit gevolgen voor bepaalde ramingen van de autonomie.
De FE-kring kan voor Doel 1/2 niet onder druk worden gehouden door de systemen van Doel 3 en 4. Hierdoor wordt de autonomie van de systemen op Doel 1/2 ingekort van quasi onbeperkt tot kortere, maar nog steeds voldoende lange periodes.

Voor Doel 3 en 4 kan de FE-kring niet onder druk worden gehouden door de kringen van Doel 1/2 en worden andere (niet-conventionele) middelen aangewend om het verdampte water aan te vullen voor de 'kern in splijtstofdokken' situatie.

5.1.3.4. (Externe) acties die voorzien worden om degradatie van splijtstof te vermijden

Het volledig verlies van de externe en interne stroomvoorziening wordt aanvankelijk beheerd door middel van ongevalsprocedures (hoge prioriteit voor de snelle beschikbaarheid van een dieselgenerator of een externe stroombron) en daarna op basis van de SAMG (richtlijnen voor beheer van ernstige ongevallen) en rekening houdend met vooraf bepaalde criteria. Bij volledig verlies van de 1ste niveau en 2de niveau stroomvoorziening blijven alleen de uitrusting die op batterijen werkt (tot die ontladen zijn) en de back-up voedingswaterturbopomp beschikbaar.

De acties die gepland zijn om beschadiging van de splijtstof te voorkomen en de tijd die verstrijkt vóór de schade zich voordoet in dit scenario, zijn hierboven beschreven.
Momenteel wordt door de exploitant van de site geen aanvullende uitrusting van buiten de site overwogen voor het geval de externe en interne stroomvoorziening volledig uitvallen.

Voor de centrale van Tihange werd, in het kader van de periodieke veiligheidsevaluaties, een overstroming bestudeerd die volledig verlies van de stroomvoorziening tot gevolg had en dit onderzoek leidde tot de uitwerking van aanvullende maatregelen (CMU-uitrusting). Overeenkomstig een omschreven strategie worden in dit geval de installatie en het gebruik van CMU-uitrusting geïmplementeerd.

5.1.3.5. Maatregelen die kunnen overwogen worden om de robuustheid van de installaties te vergroten

Kerncentrale Tihange

Volledig verlies van de 1ste niveau en 2de niveau stroomvoorziening wordt niet in overweging genomen voor de ontwerpongevallen van de centrales Tihange 1, 2 of 3. De autonomie van de batterijen en tanks zal voldoende zijn om bepaalde functies tijdelijk te behouden (koeling van de kern).
Er werd een reeks niet-conventionele systemen geïntroduceerd om te reageren op een uitzonderlijke overstroming (met een volledige station black-out als uiteindelijk gevolg), maar hiervoor moet een voldoende lange alertperiode beschikbaar zijn om deze middelen in gebruik te nemen en over te gaan naar een noodsituatie.
De meer beperkende analyse die voor dit scenario werd uitgevoerd, bracht bepaalde problemen aan het licht bij het beheer van volledig en gelijktijdig verlies van alle elektrische voedingsbronnen (extern en intern). Dit scenario wordt gebruikt als omhullend om aanvullende noodmiddelen te bepalen. De volgende punten vatten de in overweging genomen oplossingen samen. Tenzij anders wordt aangegeven, zijn ze van toepassing op alle eenheden van de site.

Verbintenis voor implementatie

- Installatie van een aanvullende 380 V-voeding om de elementaire functies te kunnen herstellen bij verlies van de 1ste niveau en 2de niveau stroomvoorziening.
- Gebruik van de CMU-generator om de bedienings- en signalisatie-elementen opnieuw van stroom te voorzien zodat de TPS kan werken op Tihange 1.
- Invoering van aanvullende niveaumetingen van de splijtstofdokken op basis van de volgende beperkingen: verlies van alle elektrische voedingsbronnen en informatieverzameling buiten het gebouw;
- Tenuitvoerlegging van voorzieningen om de isolatie van SI-accumulatoren mogelijk te maken tijdens de drukverlaging van de primaire kring.

Verbintenis inzake haalbaarheidsstudies

- Haalbaarheidsstudie voor de toevoeging van een flensverbinding van buiten de BAN om het reactorgebouw met een mobiele pomp te kunnen besproeien ter voorkoming van overdruk in het gebouw.
- Haalbaarheidsstudie om de capaciteit van de EAS te vergroten en een noodvoedingswatermotor toe te voegen (Tihange 1).
- Haalbaarheidsstudie over de beschikbaarheid van niet-conventionele middelen om de primaire kring bij te vullen in geval van open primaire kring (voor Tihange 2 en 3).
- Haalbaarheidsstudie over betrouwbare manuele acties op de afblaaskleppen van de stoomgeneratoren (Tihange 1 en Tihange 3).
- Haalbaarheidsstudie over de toevoeging van mobiele compressoren voor aansluiting op het noodpersluchtsysteem.

Er moet worden voorzien in procedures om op dergelijke gebeurtenissen te reageren. In deze procedures dienen de nodige niet-conventionele middelen en actiestrategieën opgenomen te zijn (bijvoorbeeld: snelle drukverlaging om de schade aan de pompafdichtingen te beperken, coördinatie met niet-conventionele middelen die op de site aanwezig zijn, verwijdering van niet-essentiële verbruikers, sturing van de lokale TPA, bijvulling met water en verwijdering van stoom van de splijtstofdokken en prioriteitsverlening aan lokale acties indien de normale koeling van de dokken niet meer beschikbaar is, enz.).
De bestaande "ongevalsprocedures" moeten ook gewijzigd worden om rekening te houden met dit scenario. Bovendien moeten procedures ontwikkeld worden om de vereiste uitrusting opnieuw van stroom te voorzien met niet-conventionele middelen.
De organisatie van de reactie op dit type van niet-conventionele ongevallen moet eveneens worden geïmplementeerd (beheer van uitrusting, documenten enz.) zonder aan het beheer van ontwerpincidenten/-ongevallen te raken.

Kerncentrale Doel

Stoomgeneratoren beschikbaar

De volgende hardware-oplossingen worden voorzien:

- Op de site zijn reeds de nodige mobiele diesels (10 x 30 kVA, 4 x 350 kVA) beschikbaar die ingezet kunnen worden als noodvoeding voor de controle- en bedieningskringen en de meetkringen.
- Voor Doel 1/2 wordt de turbopomp gevoed uit de kleine AFW-tank. Voor de bijvulling van deze tank zijn er op de site mobiele met diesel aangedreven pompen aanwezig.
- Om te verhinderen dat er stikstof vanuit de SI-accu's in de primaire kring terecht komt wordt er een alternatieve voeding voorzien om de isolatieafsluiters van de SI-accu's te kunnen voeden met de mobiele diesels.

De volgende procedureaanpassingen zijn voorzien:

- Op punt stellen van een uitbatingsprocedure in geval van totale SBO of LUHS (o.a. snelle afkoeling met behulp van stoomgeneratoren).
- Voor het gebruik van de hierboven vermelde middelen zijn de nodige procedures voorzien.

Primaire kring open

De volgende hardware-aanpassingen zijn voorzien:

- Voor Doel 1/2 zal de reactor in eerste instantie gekoeld worden door de inventaris te laten koken en gravitair bij te vullen. Na 12 uur neemt de SP-pomp dit over. Er is voorzien in een aansluiting om de SP-pompen te voeden vanaf de ter plaatse beschikbare mobiele diesels.
- Als er in Doel 1/2 druk is in het RC-systeem, moet de sproeileiding naar het reactorgebouw geïsoleerd worden. Er wordt onderzocht of er hiervoor nog een handafsluiter kan worden geïnstalleerd.
- Voor Doel 3 en 4: onderzoeken waar de nodige aansluitingen kunnen worden voorzien aan de zuig- en de perszijde van de SP-pomp en een mobiele pomp (250 m³/u bij 13 bar) kopen om een alternatief SP-debiet te verkrijgen.

Voor het gebruik van de hierboven vermelde uitrusting zijn de nodige procedures voorzien.

Kern in splijtstofdokken

De volgende hardware-aanpassingen worden onderzocht:

- Om de PL dokken in het GNH eenvoudiger te kunnen bijvullen wordt onderzocht of er vaste leidingen en aansluitpunten kunnen voorzien worden om dit van buiten af te kunnen doen met mobiele pompen.

Voor het gebruik van de hierboven vermelde uitrusting zijn de nodige procedures voorzien.

5.2. Verlies van koudebron

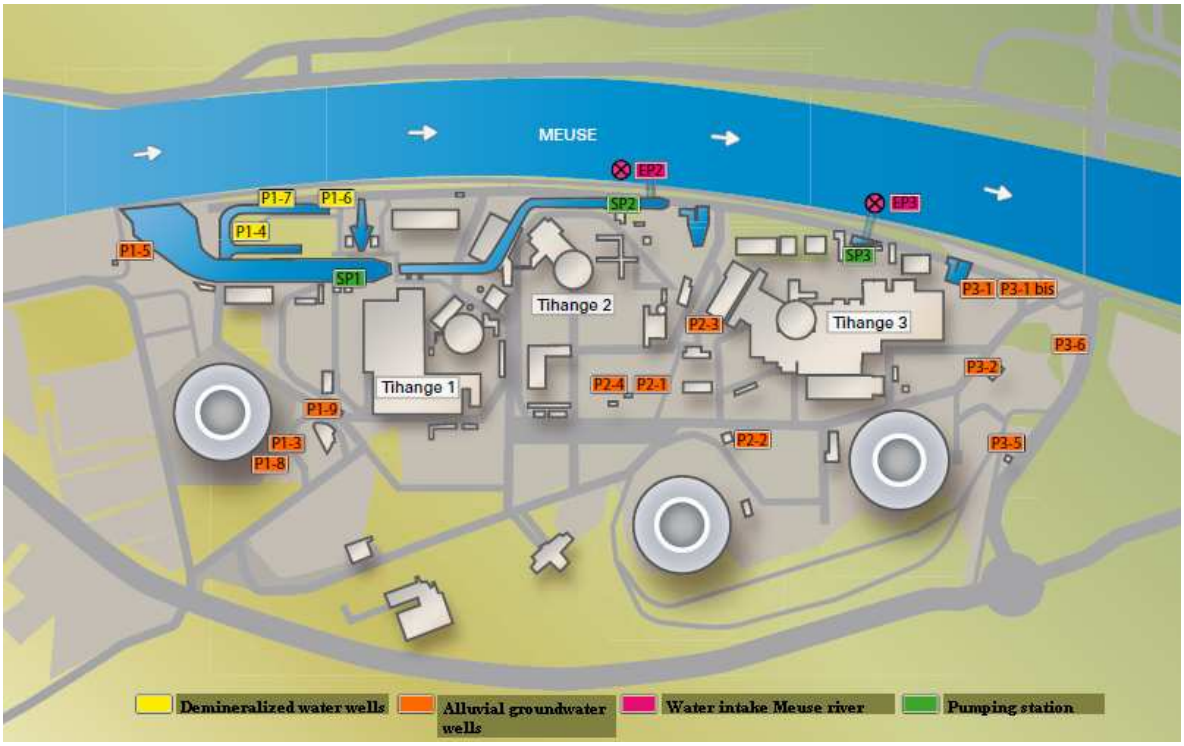
5.2.1. Verlies van de primaire ultieme koudebron (LUHS)

Kerncentrale Tihange

De centrale van Tihange, die dicht bij de Maas gelegen is, heeft diverse koudebronnen. In normale omstandigheden gebruiken de drie eenheden van Tihange water uit de Maas, aangezogen via een watertoevoerkanaal dat een kunstmatige arm van de rivier vormt, als koudebron voor de koelsystemen. Naast de mogelijkheid om water uit het toevoerkanaal te verpompen, beschikken de eenheden Tihange 2 en Tihange 3 over een diepe watervang in de rivierbedding, zodat het koelsysteem van deze eenheden nog kan worden gevoed wanneer het waterpeil van de Maas aanzienlijk daalt.

Voor het geval dat er geen water van de Maas kan worden toegevoerd, beschikken alle eenheden ook over grondwaterputten. De site is bovendien uitgerust met diverse waterreservoirs.

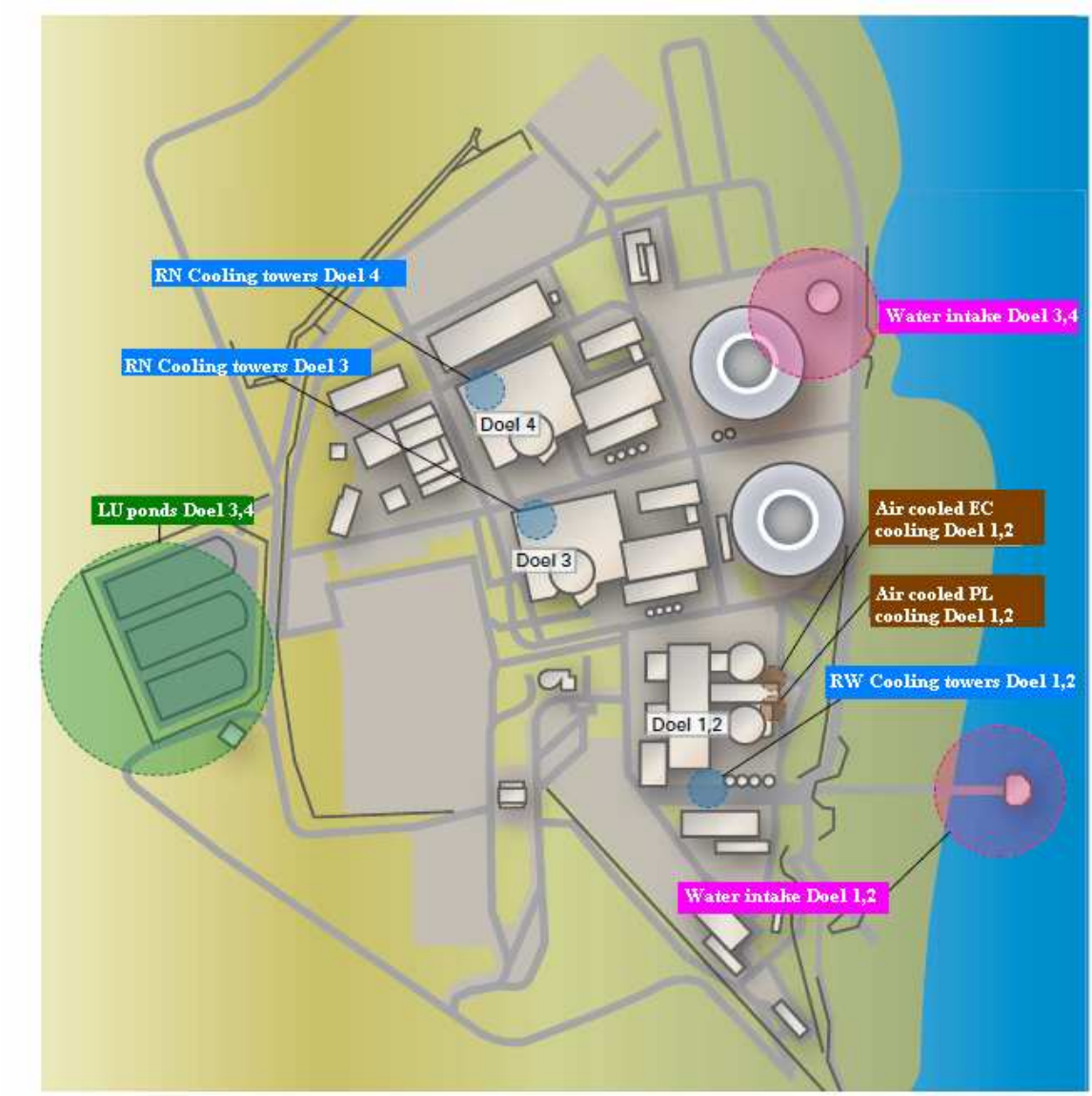
Merk op dat men sinds 2011 ook toegang heeft tot een onafhankelijke grondwaterbron die dieper is dan het grondwaterpeil.



Figuur 15 - Plan van de koudebronnen in Tihange.

Kerncentrale Doel

In normale omstandigheden gebruiken de eenheden het Scheldewater voor de koeling. Scheldewater wordt continu gepompt door de CW-kring. In Doel 1/2 wordt een deel van het CW-debiet gebruikt om de CC-kring te koelen. In Doel 3 en 4 wordt een deel van het CW-debiet gebruikt om de koeltorens van de RN-kring bij te vullen. Bij verlies van alle verbindingen met de Schelde moeten de centrales gekoeld worden door alternatieve koelkringen.
Voor Doel 1/2 en Doel 3 en 4 stemt het verlies van de primaire ultieme koudebron overeen met het verlies van de koelwatertoevoer (CW, Cooling Water) uit de Schelde.



Figuur 16 - Plan van de koudebronnen in Doel.

5.2.1.1. Ontwerpvoorzieningen

Kerncentrale Tihange

De drie eenheden van de site in Tihange gebruiken de Maas als primaire ultieme koudebron. Het waterpeil van de rivier wordt constant gehouden door de dam in Ampsin-Neuville, die 2 km stroomafwaarts van de watervang van de centrale gelegen is.
De wateraanvoer voor de pompen van het ruw-watersysteem (CEB) bevindt zich in een watertoevoerkanaal dat een kunstmatige arm van de rivier vormt.
Alle in dit scenario vermelde systemen zijn geclassificeerd als bestand tegen een DBE aardbeving.

Tihange 1

Het hieronder besproken scenario houdt alleen rekening met een ongeval in Tihange 1.

a) Ontwerpmaatregelen Tihange 1

Het ruw-watersysteem (CEB) van de eenheid omvat twee volledige pomptreinen – aangevuld met een derde reservepomp – en kan van stroom voorzien worden door de veiligheidsdiesels (GDS). Eén CEB-trein is voldoende om de eenheid in koude stilstand te brengen en te houden.
Als het waterpeil van de Maas te laag wordt voor de CEB-pompen, dan zal het grondwatersysteem (dat deel uitmaakt van de CEB) manueel worden opgelijnd. In geval van een breuk van een grote valdeur bij de dam van Ampsin-Neuville, die zich stroomafwaarts van de site bevindt, zou het personeel op site volgens het rapport van de veiligheidsanalyse over 30 minuten beschikken om de systemen op dergelijke wijze opnieuw op te lijnen. Afhankelijk van het beschouwde debiet van de Maas is het mogelijk dat deze periode tot 1 tot 2 uur kan worden verlengd.

Indien om welke reden ook – bijvoorbeeld verstopping van de toevoerwaterfilters - totaal geen water uit het toevoerkanaal wordt aangezogen voor de CEB, kan het grondwatersysteem uiteraard manueel worden aangesloten. De filters stroomopwaarts van de CEB-pompen zijn evenwel uitgerust met een bypass-terugslagklep, die onder hydraulische druk opent bij aanzienlijk belastingsverlies (50 mbar) op de filter.
Er worden ook maatregelen genomen om de filters en de zeven te monitoren: regelmatige inspecties van de watertoevoerstations om de verontreiniging van de filters te controleren, overschakeling op recirculatie bij uitzonderlijk hoge waterstand om de aanzuiging van grote hoeveelheden bladeren te vermijden, enz.

Het grondwatersysteem, dat als veiligheidswatertoevoer dient, kan van stroom worden voorzien door de veiligheidsdiesels (GDS). Dit systeem bestaat uit twee putten die elk met twee pompen uitgerust zijn. Er draait slechts één pomp tegelijk. De tweede pomp wordt alleen ingeschakeld bij een storing in de eerste. Deze verschillende putten liggen geografisch ver van elkaar en van het watervangstation.

Bovendien zou een slangverbinding tussen het grondwatersysteem in Tihange 1 en één van de CEU-pompen van de Maas van Tihange 2 tot stand kunnen worden gebracht.

Het grondwatersysteem heeft een autonomie van minimaal 30 dagen wanneer slechts één eenheid is getroffen. In het scenario van een breuk in de dam van Ampsin-Neuville zou alleen Tihange 1 grondwater aanzuigen, terwijl Tihange 2 en 3 water zouden blijven aanzuigen via de diepe watervangstations in de rivierbedding van de Maas.

b) Autonomie van Tihange 1 vóór beschadiging van de splijtstof

Bij verlies van normale aanzuig door de CEB-pompen in het watertoevoerkanaal moet de alternatieve ultieme koudebron, dus het grondwatersysteem, manueel worden opgelijnd. In het hypothetische geval – dat geen deel uitmaakt van de ontwerpbasis – van onmiddellijk verlies van de CEB-pompen is geen enkele koudebron meer beschikbaar totdat het grondwatersysteem volledig opgelijnd is. Bij geleidelijk verlies van aanzuig door de CEB-pompen, bijvoorbeeld door breuk van een valdeur in de dam van Ampsin-Neuville, heeft het shiftpersoneel voldoende tijd om het grondwatersysteem aan te sluiten vóór het volledig verlies van de CEB-pompen.

Om de hierboven beschreven redenen wordt het verlies van koudebronnen opgesplitst in twee scenario's:
1. Onmiddellijk verlies van aanzuig door de CEB-pompen in het watertoevoerkanaal.
2. Geleidelijk verlies van aanzuig door de CEB-pompen in het watertoevoerkanaal (opgenomen in de ontwerpbasis).

SCENARIO 1: Onmiddellijk verlies van aanzuig door de CEB-pompen in het watertoevoerkanaal

Stoomgeneratoren beschikbaar

De stoomgeneratoren worden gevoed door de EAS-pompen die water aanzuigen uit de EAS-tank (120 m³). Zonder bijvulling zou de autonomie van de EAS-tank beperkt zijn tot 60 minuten. De bijvulling wordt echter automatisch door een vlotterklep geactiveerd zodra het water een vooraf ingesteld peil bereikt (uit de opslagtanks voor gedemineraliseerd water). Die automatische bijvulling verlengt de autonomie tot minimaal 4 uur.

Primaire kring open

Koeling door de RRA-warmtewisselaars is niet mogelijk voordat het grondwatersysteem opnieuw opgelijnd is. Als de primaire kring een verlaagde waterinventaris heeft (stilstand van de eenheid met verlaagde inventaris enz.) op het ogenblik van het ongeval, dan kan de primaire kring via één van de lagedrukinjectieleidingen worden bijgevuld met water uit de tank B01Bi. Door die bijvulling is voldoende tijd beschikbaar om het grondwatersysteem in te zetten. Dit leidt tot scenario 2.

Kern in splijtstofdokken

De dokken worden niet gekoeld voordat het grondwatersysteem opgelijnd is, maar zijn temperatuur evolueert langzaam en vormt in die periode geen probleem.
Na de oplijning van het grondwatersysteem wordt overgeschakeld op scenario 2.

SCENARIO 2: Geleidelijk verlies van aanzuig door de CEB-pompen in het watertoevoerkanaal

Bij geleidelijk verlies van de normale aanzuig van water uit de Maas via het toevoerkanaal worden de grondwaterputten manueel opnieuw op de essentiële gebruikers opgelijnd vóór het volledig verlies van de CEB-pompen.
Bovendien zou ook een slangverbinding tussen het grondwatersysteem in Tihange 1 en één van de CEB-pompen van de Maas in Tihange 2 tot stand kunnen worden gebracht.
Met hun capaciteit hebben de CEU-putten een autonomie van minimaal 30 dagen als slechts één eenheid getroffen is.

Stoomgeneratoren beschikbaar

De stoomgeneratoren worden met grondwater bijgevuld via de EAS-tank en -pompen. Het grondwatersysteem zou uiteindelijk de tank met water kunnen bijvullen om de reactor in een stabiele en gecontroleerde toestand te houden. Het grondwater zal ook gebruikt worden om de reactor te koelen via de RRA-warmtewisselaars.

Primaire kring open

Koeling door de RRA-warmtewisselaars is mogelijk met behulp van het grondwatersysteem. Het grondwatersysteem kan de reactor in een stabiele en gecontroleerde stilstand houden.

Kern in splijtstofdokken

De CTP-bassins kunnen gekoeld worden door het grondwatersysteem.

c) Algemene conclusies voor Tihange 1

Er is geen cliff-edge-effect bij onmiddellijk of geleidelijk verlies van de primaire ultieme koudebron. In Tihange 1 wordt dit ongeval namelijk met het grondwatersysteem beheerd na een manuele oplijning. Het grondwatersysteem heeft een autonomie van minimaal 30 dagen wanneer slechts één eenheid is getroffen. Dit dekt grotendeels de tijd tot het inzetten van bijkomende middelen van op of van buiten de site.

Tihange 2 en 3

Het hierna besproken scenario is gebaseerd op een ongeval in één van de twee eenheden (Tihange 2 of 3). Het principe is hetzelfde voor beide eenheden.

a) Ontwerpmaatregelen Tihange 2 en 3

Het ruw-watersysteem (CEB) van elke eenheid omvat drie volledige pomptreinen en kan van stroom voorzien worden door de veiligheidsdiesels (GDS). Twee CEB-treinen zijn voldoende om de eenheid in koude stilstand te brengen en te houden.

Er zijn twee diepe watervangstations in de bedding van de Maas die elk voldoende capaciteit hebben om in alle behoeften te voorzien en die de CEB-pompen kunnen voeden. Deze diepe watervangstations zijn normaal gesloten. Als het peil van de Maas onder dat van de bedding van het watertoevoerkanaal zakt, wordt één van deze verbindingen met de rivierbedding manueel geopend.

In geval van een breuk van een grote valdeur bij de dam van Ampsin-Neuville, die zich stroomafwaarts van de site bevindt, zou het personeel op site volgens het rapport van de veiligheidsanalyse over 2 uur en 20 minuten beschikken om de systemen op dergelijke wijze opnieuw op te lijnen. Afhankelijk van het beschouwde debiet van de Maas is het mogelijk dat deze periode tot meer dan 6 uur kan worden verlengd.

De diepe watervangstations in de Maas kunnen ook gebruikt worden als de normale aanzuig door de CEB-pompen uit het toevoerkanaal om andere redenen onmogelijk wordt, bijvoorbeeld omdat de zeven verstopt zijn. De filters stroomopwaarts van de CEB-pompen zijn evenwel uitgerust met een bypass-terugslagklep die (onder hydraulische druk) opent bij aanzienlijk belastingsverlies (50 mbar) op de filter.

Er worden ook maatregelen genomen om de filters en de zeven te monitoren: regelmatige inspecties van het watertoevoerstation om de verontreiniging van de filters te controleren, overschakeling op recirculatie bij uitzonderlijk hoge waterstand om de aanzuiging van grote hoeveelheden bladeren te vermijden, controle van de correcte werking van de zeven enz.

Bij totaal verlies van het ruw-watersysteem (CEB) kan het noodwatersysteem (CEU) het water leveren dat nodig is om de eenheid in een stabiele en gecontroleerde stilstand te brengen en te houden. De CEU bestaat uit drie treinen en wordt gevoed door de 2de niveau nooddiesels (GDU). Elke CEU-trein heeft een pomp die water aanzuigt uit het inlaatkanaal (water van de Maas) en een grondwaterpomp. Normaliter werken de twee pompen niet gelijktijdig aangezien, afhankelijk van de situatie, één van de twee onbruikbaar kan worden ten gevolge van een ongeval van externe oorsprong. Deze verschillende putten liggen geografisch ver van elkaar en van het watervangstation.

Indien de CEB-functie in het toevoerkanaal uitvalt maar de Maas beschikbaar blijft, kunnen de CEU-pompen van de Maas nog worden ingezet door de diepe watervangstations in de rivierbedding te gebruiken (zie hoger), zodat water aan de pompen wordt geleverd.

De splijtstofdokken van het DE-gebouw worden indirect door de CEB in Tihange 3 gekoeld. Bij volledig verlies van de CEB-functie van Tihange 3 kan grondwater worden toegevoerd door een CEB-grondwaterpomp in Tihange 2 of 3.

b) Autonomie van de eenheden Tihange 2 en 3 vóór beschadiging van de splijtstof

Indien normale watertoevoer uit het kanaal niet meer mogelijk is, kunnen de CEB-pompen in Tihange 2 en 3 rechtstreeks water aanzuigen uit de diepe watervangstations in de rivierbedding van de Maas. Hiervoor moet de verbinding manueel worden geopend. Dit kan gebeuren binnen een periode die verenigbaar is met de tijd die verstrijkt voor het verlies van de normale watertoevoer. Zelfs bij een breuk in de dam van Ampsin-Neuville zou het peil van de Maas voldoende hoog blijven om langs die weg water aan te zuigen.

Om de hierboven beschreven redenen wordt het verlies van koudebronnen opgesplitst in twee scenario's:

1. verlies van de normale toevoer van water uit de Maas via het toevoerkanaal (opgenomen in de ontwerpbasis);
2. volledig verlies van de toevoer van Maaswater (opgenomen in de ontwerpbasis).

SCENARIO 1: Verlies van de normale toevoer van water uit de Maas via het toevoerkanaal (opgenomen in ontwerpbasis)
Zoals reeds werd aangegeven, kan een manuele verbinding tussen de aanzuigzijde van de CEB-pompen en de diepe wateraanvoer in de rivierbedding van de Maas tot stand worden gebracht zodat het CEB-systeem beschikbaar blijft. De autonomie is dan onbeperkt.

Stoomgeneratoren beschikbaar
Aanvankelijk gebeurt de koeling van de kern door de stoomgeneratoren die van water voorzien worden door het EAA-systeem. Indien de EEA-tank leeg raakt, kunnen de stoomgeneratoren gevoed worden met reserves van gedemineraliseerd water en daarna, indien nodig, ruw water. Dit kan met het normale CEB-systeem gebeuren via de EAA-pompen of met het 2de niveau AUG-systeem. De autonomie van het EAA-systeem is echter voldoende groot om condities te bereiken die het gebruik van het RRA-stilstandskoelsysteem toelaten. Het systeem zelf wordt gekoeld door de tussenkoelkring (CRI), die op zijn beurt gekoeld wordt door de CEB.

Primaire kring open
De CRI (gekoeld door de CEB) koelt de kern af via de RRA-warmtewisselaars en de CTP-bassins via de CTP-warmtewisselaars.

Kern in splijtstofdokken
De CRI (gekoeld door de CEB) koelt de CTP-bassins af via de CTP-warmtewisselaars.

DE-splijtstofdokken
De splijtstofdokken in het DE-gebouw worden indirect door de CEB van Tihange 3 gekoeld. Aangezien de diepe wateraanvoer in de rivier en de externe stroombronnen nog beschikbaar zijn, is de autonomie onbeperkt.

In dit scenario is de Maas nog altijd de koudebron. Er is geen cliff-edge-effect.

SCENARIO 2: Volledig verlies van de toevoer van Maaswater (opgenomen in de ontwerpbasis).
Het totaal verlies van watertoevoer uit de Maas is opgenomen in de ontwerpbasis van de 2de niveau veiligheidssystemen van Tihange 2 en Tihange 3.
Het grondwater is in dit geval de koudebron. Met hun capaciteit bieden de CEU-grondwaterputten een autonomie van minimaal 30 dagen als slechts één eenheid getroffen is. Deze autonomie dekt de tijd tot de aankomst van uitrusting of water van een andere eenheid of van buiten de site.

Stoomgeneratoren beschikbaar
De hoger beschreven 2de niveau systemen (gevoed met water uit de CEU-putten) kunnen de reactor in een stabiele en gecontroleerde stilstand brengen en houden.

Primaire kring open
De 2de niveau systemen (gevoed met water uit de CEU-putten) kunnen de reactor in een stabiele en gecontroleerde stilstand houden.

Kern in splijtstofdokken
De CTP-bassins kunnen gekoeld worden door de 2de niveau noodssystemen (CTP-warmtewisselaars van putwater voorzien via de CRU).

DE-splijtstofdokken
De splijtstofdokken in het DE-gebouw worden via de STP-warmtewisselaars gekoeld door het SEU-systeem, dat gevoed wordt met water uit de CEU-putten.

c) Algemene conclusies voor Tihange 2 en 3
Er is geen cliff-edge-effect bij onmiddellijk of geleidelijk verlies van de koudebron. Dit ongeval wordt in Tihange 2 en 3 namelijk beheerd door middel van het CEB-systeem (diepe watervangstations in de

rivierbedding van de Maas) of het CEU-systeem (grondwater). Het grondwatersysteem heeft een autonomie van minimaal 30 dagen wanneer slechts één eenheid is getroffen. Dit dekt grotendeels de tijd tot het inzetten van bijkomende middelen van op of van buiten de site.

Verschillende eenheden van de site van Tihange getroffen

Het beheer van een verlies van de koudebron in de drie eenheden is hoofdzakelijk afhankelijk van de mogelijkheid om de diepe rivierwatervang in de Maas te gebruiken voor de eenheden Tihange 2 en 3.
Als de diepe rivierwatervang in de Maas nog beschikbaar is, gebruikt Tihange 1 grondwater en worden Tihange 2 en 3 gevoed met rivierwater uit de Maas. De autonomie bedraagt dan minimaal 30 dagen voor Tihange 1 en is onbeperkt voor Tihange 2 en 3. Als alle diepe rivierwatervangen onbruikbaar zijn, worden de drie eenheden gevoed met grondwater. De autonomie bedraagt dan drie weken.

De ontwerpbasissen van de eenheden nemen het gebruik van grondwater door slechts één eenheid in overweging. De autonomie bij gebruik van grondwater werd bepaald op basis van deze veronderstelling. Bij een gebeurtenis die meer dan één eenheid treft, wordt het realistische geval van twee eenheden met stoomgeneratoren beschikbaar en één door de RRA gekoelde eenheid in overweging genomen.
Er zullen nieuwe procedures worden ontwikkeld om rekening te houden met het verlies van de primaire ultieme koudebron waarbij meer dan één eenheid wordt getroffen.
In dat geval moet de temperatuur van de primaire kring door de stoomgeneratoren geregeld worden voor reactoreenheden waar stoomgeneratoren beschikbaar zijn. Op die manier wordt het grondwaterverbruik beperkt omdat deze eenheden geen beroep doen op het RRA-systeem.

Als Tihange 3 één van de eenheden is die te maken krijgen met een totaal verlies van watertoevoer uit de Maas, dan worden de dokken in het DE-gebouw niet langer gekoeld door de conventionele systemen. Om het grondwaterverbruik te beperken, gebeurt de koeling dan door bijvulling met water, aangevoerd met diverse niet-conventionele middelen die aanwezig zijn op de site. Die kunnen binnen enkele uren worden ingezet, lang voordat de beschadiging van de splijtstofelementen begint (na meer dan 20 dagen).

Kerncentrale Doel

De kans dat de hele site getroffen wordt door het verlies van de primaire ultieme koudebron is voor Doel erg onwaarschijnlijk. De watervangstations van Doel 1/2 en Doel 3 en 4 liggen ver van elkaar verwijderd en hun werkingsprincipe is verschillend. Het pompstation van Doel 1/2 ligt in de Schelde. Het pompstation van Doel 3 en 4 ligt op de site zelf maar is via ondergrondse leidingen verbonden met een aanzuigput in de Schelde.

Indien Doel 3 en 4 getroffen worden en Doel 1/2 niet getroffen worden door het verlies van de primaire ultieme koudebron, kan het koelwater van Doel 1/2 naar Doel 3 en 4 gepompt worden. Die oplijning, waarvoor lokale manuele handelingen nodig zijn, vergt enkele uren.

Doel 1/2

De centrale is ontworpen om bij verlies van de primaire ultieme koudebron de veiligheidsuitrusting en de reactor gekoeld te houden. Hieronder beschrijven we eerst de beschikbare 1ste niveau en 2de niveau back-upsystemen en daarna de scenario's in de drie uitbatingstoestanden.

a) Ontwerpmaatregelen Doel 1/2: Back-up vanuit de 1ste niveau systemen

Bij verlies van de primaire ultieme koudebron wordt de koeling van het CC-systeem verzekerd door het RW-kring (RuwWaterkring). De RW-kring is een veiligheidskring bestaande uit vier treinen en kan gevoed worden door de 1ste niveau diesels. De RW-kring bestaat uit 4 gesloten lussen gekoeld met behulp van koeltorens met geforceerde trek. Om het waterverlies van de koeltorens te compenseren, kunnen de koeltorenbakken op gediversifieerde wijze bijgevuld worden:

- Bijvulling middels zwaartekracht vanuit het stadswaterreservoir TW0R1.
- Bijvulling middels zwaartekracht vanuit de gemeenschappelijke gedemineraliseerde watertank.
- Bijvulling met Scheldewater.
- Naast de voorgaande toevoegingen, bestaat er ook nog de mogelijkheid om de RW-koeltorens rechtstreeks te vullen door middel van de FE-kring.

De bijvulling wordt gedurende ongeveer 12 uur automatisch verzekerd door een bijvulling middels zwaartekracht vanuit de TW- en RW-tanks. Voor de andere bijvulmogelijkheden zijn manuele acties nodig.

b) Ontwerpmaatregelen Doel 1/2: Back-up vanuit de 2de niveau systemen

Als naast de primaire ultieme koudebron (CW-kring) ook de CC/RW-kring niet beschikbaar is, dan wordt de koeling van de SC-kring (Shutdown Cooling) en van de PL-dokken voor de opslag van de verbruikte splijtstof verzekerd vanuit de 2de niveau systemen.

- Ter vervanging van de CC-kring op de SC, is er het 2de niveau koelsysteem EC (Emergency Cooling). De EC-kring is gemeenschappelijk voor de twee eenheden. Hij bestaat uit 2 pompen en 2 luchtkoelers die in parallel op één enkele lus zijn geplaatst en die de vier warmtewisselaars van de SC en de zes SC-pompen kunnen koelen. De uitrustingen van de kring bevinden zich in het Gebouw Noodsystemen (pompen en expansietank), en op het dak van het Gebouw Noodsystemen (luchtkoelers). De SC-pompen en -koelers bevinden zich in het Gebouw Nucleaire Hulpdiensten en krijgen elektrische voeding van zowel het 1ste niveau als het 2de niveau.
- Ter vervanging van de PL-koelers kan de koeling van de dokken van het Gebouw Nucleaire Hulpdiensten omgeschakeld worden naar een luchtkoeler (behorend tot de PL-kring) op het dak van het Gebouw Noodsystemen. Twee van de drie PL-pompen kunnen vanuit de 2de niveau diesels gevoed worden om deze functie te verzekeren. De derde PL-pomp wordt gevoed vanuit de 1ste niveau diesels.

Zolang de 1ste niveau systemen bedrijfsklaar zijn heeft men de 2de niveau systemen niet nodig. De diesels van beide niveaus worden gekoeld door luchtkoelers en blijven dus beschikbaar zonder primaire ultieme koudebron, zonder CC/RW en zonder EC.

c) Autonomie van Doel 1/2 vóór beschadiging van de splijtstof

Stoomgeneratoren beschikbaar

De 1ste niveau RW-koeltorens zorgen ervoor dat alle veiligheidsgerelateerde 1ste niveau systemen gekoeld blijven via de CC-kring.
De koeling van de kern wordt verzekerd door afkoeling via de stoomgeneratoren en de erop volgende overgang op SC-koeling. De koeling via de stoomgeneratoren wordt primair gewaarborgd met de AFW-kring (Auxiliary Feedwater). Op het tweede niveau kan het EF-systeem (noodkoelwater) in het GNS Gebouw Noodsystemen worden gebruikt.
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario. Er is meer dan voldoende watervoorraad beschikbaar in Doel 1/2 om de RW-koeltorens bij te vullen. Bovendien kan men via de FE-kring bijvullen vanuit de vijvers (3 x 30.000 m3) van Doel 3 en 4.
Als de watervoorraad toch zou uitgeput raken gaat men over naar 2de niveau systemen van Doel 1/2 en neemt de EC-kring in het Gebouw Noodsystemen de functie van de CC-kring over.

Primaire kring open

De 1ste niveau RW-koeltorens zorgen ervoor dat alle veiligheidsgerelateerde 1ste niveau systemen gekoeld blijven.
De kern wordt gekoeld via de SC-kring en de CC-kring die op zijn beurt wordt gekoeld door de alternatieve koudebron (RW).
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario. Er is meer dan voldoende watervoorraad beschikbaar in Doel 1/2 om de RW-koeltorens bij te vullen. Bovendien kan men via de FE-kring bijvullen vanuit de vijvers (3 x 30.000 m3) van Doel 3 en 4.
Wanneer de watervoorraad van de vijvers uitgeput is, neemt het EC-systeem in het Gebouw Noodsystemen de functie van het CC-systeem over.

Kern in splijtstofdokken

De 1ste niveau RW-koeltorens zorgen ervoor dat de splijtstofdokken nog gekoeld worden.
De kern wordt gekoeld via de PL-kring en de CC-kring die op zijn beurt wordt gekoeld door de alternatieve koudebron (RW).
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario. Er is meer dan voldoende watervoorraad beschikbaar in Doel 1/2 om de RW-koeltorens bij te vullen. Bovendien kan men via de FE-kring bijvullen vanuit de vijvers (3 x 30.000 m3) van Doel 3 en 4.

Wanneer de watervoorraad van de vijvers uitgeput is, nemen de PL-koelers in het Gebouw Noodsystemen de functie van de CC-kring over.

Doel 3 en 4

De eenheden zijn ontworpen om bij verlies van de primaire ultieme koudebron de veiligheidsuitrusting en de reactor gekoeld te houden. De CC-kring wordt altijd gekoeld via de RN-kring (RN-koeltorens), die suppletiewater ontvangt van de CW-kring. Bij verlies van de CW-kring schakelt de RN-kring automatisch over op de CD-kring om het verlies van waterinventaris te compenseren. De CD-kring haalt zijn water uit de LU-vijvers van Doel 3 en 4 (3 x 30.000 m³).

a) Ontwerpmaatregelen Doel 3 en 4: Back-up vanuit de 1ste niveau systemen

De RN-kring is een gesloten kring die het CC-systeem koelt en de warmte via koeltorens in de atmosfeer vrijgeeft. De RN-kring bestaat uit drie koelingslussen voor de koeling van de warmtewisselaars van de tussenkoelkring CC. Elke RN-lus beschikt over een stel van 2 koeltorens met geforceerde trek. Om het waterverlies van de koeltorens te compenseren, dient er water toegevoegd te worden aan de RN-kring. Er bestaan verschillende alternatieven voor deze watertoevoer:

- Het toevoegwater van deze torens wordt normaal geleverd door de watervang van Doel 3&4 via CW-pompen van Doel 3 en 4.
- Vanuit de LU-vijvers is een bijvulling van de RN voorzien via de CD-kring.
- Naast de voorgaande toevoegingen, bestaat er ook nog de mogelijkheid om de RN-koeltorens te vullen d.m.v. de FE-kring.

b) Ontwerpmaatregelen Doel 3 en 4: back-up vanuit de 2de niveau systemen

Indien naast de primaire ultieme koudebron ook de CC/RN-kring niet beschikbaar is, kan de noodkoelkring (LU-kring) de koeling verzekeren die nodig is om de centrale naar koude stilstand te brengen en in deze staat te behouden. De LU-kring bestaat uit drie onafhankelijke treinen die automatisch gevoed worden door 2de niveau diesels (KE) wanneer de externe voedingsbronnen uitvallen.

In elke eenheid wordt het koelwater opgepompt uit de bijhorende LU-vijver, rechtstreeks naar de koelers (PL, SC,…) gestuurd en teruggevoerd naar de LU-vijver.

Er zijn drie onafhankelijke kunstmatige LU-vijvers voorzien. De vijvers zijn ver genoeg van de centrale verwijderd, zodat nooit zowel de centrale als de koelvijvers tegelijk getroffen worden door een ongeval van uitwendige oorsprong. Zowel Doel 3 als Doel 4 hebben hun eigen LU-vijver met een waterreserve van 30.000 m³. De derde koelvijver dient als industriële waterreserve (IW) en indien nodig als gemeenschappelijke reserve voor de koelvijvers van de eenheden Doel 3 en 4.

Rekening houdend met een capaciteit die gereserveerd is voor de FE-kring (brandbestrijding) en verschillende mogelijke verliezen, blijft er na enkele weken nog voldoende water in de LU-vijvers om een goede werking van de LU-pompen te garanderen. De temperatuur van de vijver blijft ook beperkt tot 50°C wegens thermische inertie en sproeisysteem.

Zolang de 1ste niveau systemen bedrijfsklaar zijn, heeft men de 2de niveau systemen niet nodig. De 1ste niveau diesels worden door luchtkoelers gekoeld en blijven bijgevolg beschikbaar zonder primaire ultieme koudebron, zonder CC/RN en zonder LU. De 2de niveau diesels worden door de LU-kring gekoeld en blijven bijgevolg beschikbaar zonder primaire ultieme koudebron en zonder CC/RN.

c) Autonomie van Doel 3 en 4 vóór beschadiging van de splijtstof

Stoomgeneratoren beschikbaar

De 1ste niveau RN-koeltorens zorgen ervoor dat alle veiligheidsgerelateerde 1ste niveau systemen gekoeld blijven.

De koeling van de kern wordt verzekerd door afkoeling via de stoomgeneratoren en de erop volgende overgang op SC-koeling. De koeling via de stoomgeneratoren wordt op het 1ste niveau gewaarborgd met de AFW-kring (Auxiliary Feedwater). Op het 2de niveau kan het EF-systeem (noodkoelwater) in het GNS gebouw voor noodsystemen worden gebruikt.

Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario. De LU-vijvers bevatten voldoende water voor een autonomie van minstens 26 dagen. Dit is meer dan voldoende om de LU-vijvers te kunnen bijvullen.

Primaire kring open

De 1ste niveau RN-koeltorens zorgen ervoor dat alle veiligheidsgerelateerde 1ste niveau systemen gekoeld blijven.
De kern wordt gekoeld via de SC-kring en de CC-kring die op zijn beurt wordt gekoeld door de alternatieve koudebron (RN).
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario. De LU-vijvers bevatten voldoende water voor een autonomie van minstens 26 dagen. Dit is meer dan voldoende om de LU-vijvers te kunnen bijvullen.

Kern in splijtstofdokken
De 1ste niveau RN-koeltorens zorgen ervoor dat de splijtstofdokken nog gekoeld worden.
De bassins worden gekoeld via de PL-kring en de CC-kring, die op zijn beurt wordt gekoeld door de RN-koeltorens.
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario. De LU-vijvers bevatten voldoende water voor een autonomie van minstens 26 dagen. Dit is meer dan voldoende om de LU-vijvers te kunnen bijvullen.

Verschillende eenheden van de site van Doel getroffen
Als de hele site getroffen is en de waterreserves van Doel 1/2 uitgeput geraken, moet Doel 3 en 4 de vijvers delen met Doel 1/2. De waterreserve in de vijvers is groot genoeg om ook Doel 1/2 van water te voorzien. Bovendien beschikt men over verscheidene weken om de vijvers bij te vullen. Voor dit gebeurt, kunnen echter de 2de niveau systemen in Doel 1/2 in bedrijf worden gesteld. Die zijn volledig aangewezen op luchtkoelers die niet moeten worden bijgevuld.

5.2.1.2. Voorziene (externe) acties om beschadiging van de splijtstof te voorkomen

Kerncentrale Tihange
Zoals in de vorige paragraaf werd beschreven, wordt het verlies van water uit de Maas op verschillende manieren beheerd, afhankelijk van de eenheid.

Het shiftpersoneel wordt opgeleid om op ongevallen van dit type te reageren. Het intern noodplan (PIU) wordt afgekondigd en op middellange termijn heeft men geen uitrusting van buiten de site nodig. Merk evenwel op dat, bij breuk van een valdeur in de stroomafwaarts gelegen dam van Ampsin-Neuville, de periode nodig om de bres te dichten met reserve-kistdammen (twee kistdammen) die ter plaatse beschikbaar zijn, op maximaal twee dagen wordt geschat door de "Service des Voies Hydrauliques". Als de structuur van de dam intact is, laat dit een vrij snel herstel van het correcte waterpeil in de Maas toe.

Kerncentrale Doel
Dit incident is een onderdeel van het ontwerp van de eenheden en wordt perfect opgevangen met de beschikbare installaties, de standaardprocedures en het shiftpersoneel.

5.2.1.3. Maatregelen die kunnen overwogen worden om de robuustheid van de installaties te vergroten

Kerncentrale Tihange
In de ontwerpbasis van elk van de drie eenheden wordt rekening gehouden met het verlies van water uit de Maas - in de drie mogelijke configuraties: stoomgeneratoren beschikbaar, primaire kring open en kern in splijtstofdokken – als slechts één eenheid grondwater gebruikt. Een ongeval van dit type vergt geen aanvullende maatregelen.

Als de drie eenheden op grondwater aangewezen zijn, moet het waterverbruik worden geoptimaliseerd. In de procedures en/of de strategie voor het beheer van een "multi-unit" ongeval

moeten methoden worden opgenomen om het grondwaterverbruik te beperken en om te bepalen welke put(ten) bij voorkeur moet(en) worden aangewend.

Kerncentrale Doel
Dit incident is een onderdeel van het ontwerp van de centrales en kan perfect opgevangen met de beschikbare installaties, de standaard procedures en het shiftpersoneel. Er zijn geen aanpassingen aan de hardware, geen nieuwe procedures en geen organisatorische maatregelen nodig.

5.2.2. Verlies van de primaire ultieme koudebron en de alternatieve ultieme koudebron(nen)

Kerncentrale Tihange
Het gelijktijdige verlies van de primaire en de alternatieve ultieme koudebron maakt geen deel uit van de ontwerpbasissen voor de eenheden in Tihange. De analyse hierna toont echter aan dat de site over noodmiddelen en voldoende autonomie beschikt om dit type van ongevallen te beheren en dat voldoende tijd beschikbaar is om niet-conventionele middelen van buiten de site in te zetten ter aanvulling van de middelen die op de site beschikbaar zijn.

Kerncentrale Doel
In doel zijn er twee alternatieve ultieme koudebronnen in elke eenheid. Er wordt aangetoond dat de eenheden ontworpen zijn om het verlies van één van de twee systemen op te vangen. Het verlies van beide systemen tegelijk is zeer onwaarschijnlijk en maakte daarom geen deel uit van de ontwerpbasis. In enkele specifieke gevallen betekent dit dat men aangewezen zal zijn op niet-conventionele middelen.

5.2.2.1. Autonomie van de site vóór beschadiging van de splijtstof

Kerncentrale Tihange
De site is zo ontworpen dat diverse koudebronnen beschikbaar zijn om het risico van gelijktijdig verlies te beperken. Daarom maakt het volledige verlies van de primaire ultieme koudebron (de Maas) en de alternatieve ultieme koudebronnen (de grondwaterlaag) geen deel uit van de ontwerpbasis van de eenheden.
Het scenario neemt het opeenvolgende of gelijktijdige verlies in overweging van:
- water uit het toevoerkanaal afkomstig van de Maas;
- diepe watervangstations in de rivierbedding van de Maas, voor Tihange 2 en 3 geïnstalleerd om een eventuele daling van het waterpeil in de rivier te compenseren;
- water uit de grondwaterputten (elk van de drie eenheden beschikt over diverse putten op verschillende plaatsen op de site).

De analyses hieronder hebben betrekking op het ongunstigste - en hoogst onwaarschijnlijke - scenario van een onmiddellijk en gelijktijdig verlies van deze koudebronnen wanneer de externe stroomvoorziening nog beschikbaar is. In geval van geleidelijk en opeenvolgend verlies van deze bronnen (een meer realistische situatie) zouden de autonomiewaarden groter zijn dan de waarden die in de volgende paragrafen worden aangegeven. De hierna beschreven gevallen zijn dan ook uiterst conservatief.
Deze analyses zijn gebaseerd op de veronderstelling dat elke eenheid haar eigen waterreserves en uitrusting gebruikt. Bij een ongeval dat minder dan drie eenheden treft, zijn wateroverdrachten altijd mogelijk nadat één eenheid met de andere eenheden werd verbonden om de autonomie van de getroffen eenheid (eenheden) te vergroten.

In geval van volledig verlies van de koudebronnen kunnen de diverse 1ste niveau en 2de niveau veiligheidssystemen (meer bepaald de diesels) niet continu werken bij gebrek aan koeling – uitgezonderd de systemen die geen waterkoeling vereisen (zoals bijvoorbeeld GDR, dat luchtgekoeld is) of die zelfgekoeld zijn.

Er wordt een nieuw productiecircuit voor gedemineraliseerd water gebouwd. Onderzoek in het kader van deze operatie bracht het bestaan aan het licht van een diepe grondwaterlaag op de site van Tihange. In deze grondwaterlaag werden drie putten gegraven. Zij zijn uitgerust met pompen. Het is nu al mogelijk dit water te gebruiken met behulp van slangen. De hierna vermelde autonomieramingen houden geen rekening met deze nieuwe waterbron.

Tihange 1

Stoomgeneratoren beschikbaar

De stoomgeneratoren worden gevoed door de zelfgekoelde EAS-pompen die water aanzuigen uit de EAS-tank (120 m³). Zonder bijvulling zou de autonomie van de EAS-tank beperkt zijn tot 60 minuten. Door middel van een vlotterventiel wordt echter automatisch een bijvulling gestart wanneer het water een vooraf ingesteld peil bereikt.

Met de beschikbare volumes water (1120 m³) en de inertie van het water dat in de stoomgeneratoren aanwezig is, kan gedurende minimaal 1,5 dag via de stoomgeneratoren gekoeld worden. Bovendien kan een aanvullende waterreserve, beschikbaar in de twee condensors, worden aangesproken (ongeveer 320 m³). In noodgevallen kan dit water naar de stoomgeneratoren worden geleid.

Indien koeling door de stoomgeneratoren niet meer mogelijk is en geen alternatief voor de stoomgeneratoren wordt gevonden, kan de primaire kring in een "feed-and-bleed"-configuratie worden gebracht door directe injectie van boorhoudend water en door ontlading via de SEBIM-kleppen van het drukregelvat.

Door het verlies van alle koudebronnen doet het cliff-edge-effect zich voor bij verlies van water voor de koeling van de stoomgeneratoren (na ongeveer 1,5 dag). Deze periode laat voldoende tijd toe om alternatieve suppletiemiddelen op de site beschikbaar te maken.
Men kan immers via het brandblussysteem suppletiewater toevoegen met niet-conventionele middelen, in dit geval een mobiele motorpompeenheid die rechtstreeks water aanzuigt uit de Maas. Met deze middelen kan het cliff-edge-effect worden vermeden.

Primaire kring open

Het "feed-and-bleed"principe wordt gebruikt voor de primaire kring. De stoom ontsnapt via een VBP-ontluchtingsopening naar de schouw en haar filtersystemen.
De vereiste reactietijd is afhankelijk van de waterinventaris in de primaire kring, hierbij inbegrepen het reactorbassin. Zonder watersuppletie of reactivering van de koeling verdampt het in de primaire kring geïnjecteerde water uit B01Bi in iets meer dan 5 dagen. Om overdruk in het reactorgebouw te voorkomen, is in een stoomaflaattraject voorzien. Indien de stoom in het reactorgebouw niet wordt afgeblazen en zonder containmentsproei kan de overdruk na 3 tot 4 dagen de structuur van het containment beschadigen.
De eenheid heeft ook een waterreserve in zijn CIS-accumulatoren die kan worden gebruikt, afhankelijk van de waterinhoud op het moment van het verlies van de koudebronnen. Ten slotte kunnen ook de waterreserves in de CAB-tanks worden gebruikt.

Het cliff-edge-effect treedt op wanneer alle tanks met boorwater leeg zijn. De B01Bi tank geeft een autonomie van ruim 72 uur. Deze autonomie dekt de tijd tot de aankomst van uitrusting of water van een andere eenheid of van buiten de site. Naast de beschikbare reserves in andere boorwatertanks is in een externe verbinding voor een tanker met boor voorzien om B01Bi bij te vullen. Met deze middelen kan het cliff-edge-effect worden vermeden.

Kern in splijtstofdokken

De splijtstofdokken worden niet langer door de normale kringen gekoeld. De verdamping begint ongeveer 10 uur na het verlies van de normale koelsystemen.

Niet-conventionele middelen kunnen worden ingezet om in enkele uren het water bij te vullen, lang genoeg vóór de splijtstofelementen blootgelegd worden, wat theoretisch 4 of meer dagen na het verlies van de normale koeling gebeurt (transferbuis afgesloten).

De koeling van de splijtstof wordt in stand gehouden door verdamping en suppletiewater, dat na enkele uren kan worden ingezet. Na verloop van tijd zal de toegang moeilijk worden door de aanwezigheid van stoom in het reactorgebouw. Bijgevolg moeten eventuele activiteiten in het gebouw zo snel mogelijk worden uitgevoerd. Er zullen procedures worden opgesteld voor het beheer van de dokken in dit type scenario. De invoering van bijkomende niveaumetingen in de splijtstofdokken wordt ook overwogen**.**

De te vermijden situatie is dat de splijtstofelementen worden blootgelegd (cliff-edge-effect). De installatie van suppletiewatervoorzieningen kan binnen de bovengenoemde periodes gebeuren. Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.

Tihange 2 en 3

Stoomgeneratoren beschikbaar

De stoomgeneratoren kunnen gevoed worden door de zelfgekoelde EAA-pompen die water aanzuigen uit de EAA-tank (totale capaciteit 690 m³ voor Tihange 2 en 800 m³ voor Tihange 3).

Wanneer deze tank leeg is, kan de inhoud van de volgende tanks naar de stoomgeneratoren worden gevoerd:

- EDN B06: capaciteit 800 m³ in Tihange 2 en EDN B05: capaciteit 800 m³ in Tihange 3;
- EDN B07: capaciteit 300 m³ in Tihange 2 en EDN B07: capaciteit 800 m³ in Tihange 3;
- Condensor: gemiddelde inhoud 170 m³ in Tihange 2 en 350 m³ in Tihange 3;
- PED B01: gemiddelde inhoud 110 m³ in Tihange 2 en PED B03: gemiddelde inhoud 110 m³ in Tihange 3.

De beschikbare watervolumes (2.166 m³ voor Tihange 2 en 2.523 m³ voor Tihange 3) en de inertie van het water in de stoomgeneratoren laten een koeling via de stoomgeneratoren toe gedurende minimaal 3,5 dagen in Tihange 2 en 5 dagen in Tihange 3.
Indien koeling door de stoomgeneratoren niet meer mogelijk is en geen alternatief voor de stoomgeneratoren wordt gevonden, kan de primaire kring in een "feed-and-bleed"-configuratie worden gebracht door directe injectie van boorhoudend water en door ontlading via de afblaaskleppen van het drukregelvat.

Door het verlies van alle koudebronnen doet het cliff-edge-effect zich voor bij verlies van water voor de koeling van de stoomgeneratoren (na ongeveer 3,5 dagen in Tihange 2 en 5 dagen in Tihange 3). Deze periode laat voldoende tijd toe om alternatieve suppletiemiddelen op de site beschikbaar te maken. Daarom kan het cliff-edge-effect worden vermeden.

Primaire kring open

In geval van een verlaagde waterinventaris kan de inhoud van de CTP-tanks in de primaire kring geïnjecteerd worden. Zonder watersuppletie of reactivering van de koeling verdampt het in de primaire kring geïnjecteerde water uit de CTP in iets meer dan 6 dagen, en dit in Tihange 2 of in Tihange 3. Om overdruk in het reactorgebouw te voorkomen, is in een stoomaflaatkanaal voorzien. Indien de stoom in het reactorgebouw niet wordt afgeblazen en zonder containmentsproei kan de overdruk na 3 tot 4 dagen de structuur van het containment beschadigen, en dit in Tihange 2 of in Tihange 3.

De eenheid heeft ook een waterreserve in zijn CIS-accumulatoren die kan worden gebruikt, afhankelijk van de waterinhoud op het moment van het verlies van de koudebronnen. Ten slotte kunnen ook de waterreserves in de CAB en CUS-tanks (ongeveer 450 m³) worden gebruikt.

Het cliff-edge-effect treedt op wanneer alle tanks met boorwater leeg zijn. De CTP-tanks geven een autonomie van ruim 72 uur in Tihange 2 of in Tihange 3. Deze autonomie dekt de

tijd tot de aankomst van uitrusting of water van een andere eenheid of van buiten de site. Daarom kan het cliff-edge-effect worden vermeden.

Kern in splijtstofdokken
De splijtstofdokken worden niet langer door de normale kringen gekoeld. De verdamping begint ongeveer 8 uur na het verlies van de normale koelsystemen.

Niet-conventionele middelen kunnen worden ingezet om in enkele uren het water bij te vullen, lang genoeg voor de splijtstofelementen blootgelegd worden, wat theoretisch 2 dagen na het verlies van de normale koeling gebeurt (transferbuis afgesloten) in Tihange 2 (of 3 dagen in Tihange 3).

De koeling van de splijtstof wordt in stand gehouden door verdamping en suppletiewater, dat na enkele uren kan worden ingezet. Na verloop van tijd zal de toegang moeilijk worden door de aanwezigheid van stoom in het reactorgebouw. Bijgevolg moeten eventuele activiteiten in het gebouw zo snel mogelijk worden uitgevoerd. Er zullen procedures worden opgesteld voor het beheer van de dokken in dit type scenario. De invoering van bijkomende niveaumetingen in de splijtstofdokken wordt ook overwogen.

De te vermijden situatie is dat de splijtstofelementen worden blootgelegd (cliff-edge-effect). De toewijzing van suppletiewatervoorzieningen kan binnen de bovengenoemde periodes gebeuren. Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.

DE-splijtstofdokken
In dit scenario worden de bassins met gebruikte splijtstof in het DE-gebouw niet door de normale systemen gekoeld. De verdamping begint ongeveer 4 dagen na het verlies van de koeling van de dokken. Om water bij te vullen vóór de splijtstofelementen worden blootgelegd (na minimaal 3 weken), is voorzien in niet-conventionele middelen die in enkele uren kunnen worden ingezet. Er zijn ook voorzieningen getroffen voor de afvoer van stoom.
Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.

Meer dan één eenheid in Tihange getroffen
De bovenstaande analyse werd onafhankelijk uitgevoerd voor alle eenheden van Tihange. Als verschillende eenheden gelijktijdig zijn getroffen, zijn er geen bijkomende beperkingen omdat, op korte termijn, elke eenheid gebruik maakt van zijn eigen middelen en reserves.

Kerncentrale Doel
In Doel 1/2 en Doel 3 en 4 zijn twee alternatieve ultieme koudebronnen beschikbaar. Daarom wordt het scenario opgesplitst in twee stappen.

Doel 1/2 Stap 1: verlies van CW (primaire ultieme koudebron) + RW (eerste alternatieve ultieme koudebron)
Doel 1/2 is ontworpen om onafhankelijk bestand te zijn tegen een volledig verlies van de eerste alternatieve ultieme koudebron (RW-koeltorens). Hiervoor wordt een beroep gedaan op de 2de niveau systemen in het Gebouw Noodsystemen.

Bij verlies van de RW-koeltoren (1ste niveau koeltorens) is de CC-kring niet langer beschikbaar. Hierdoor vallen meerdere 1ste niveau veiligheidssystemen zonder koeling.

Volledig verlies van de bijvulling naar de RW koeltorens is zeer onwaarschijnlijk, aangezien er meerdere redundante bijvulmogelijkheden zijn:

Stoomgeneratoren beschikbaar
De AFW-pompen en de 2de niveau systemen (Gebouw Noodsystemen) zorgen ervoor dat de eenheid wordt afgekoeld en in koude stilstand gehouden.

In dit scenario blijven de (zelfgekoelde) AFW-pompen (2x motorpomp & 1x turbopomp) beschikbaar om de stoomgeneratoren te voeden vanuit de AFW-tank en MW-tanks. De stoomgeneratoren kunnen ook gevoed worden door de EF-pompen.
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario.

Primaire kring open

De 2de niveau systemen (Gebouw Noodsystemen) zorgen ervoor dat de eenheid in koude stilstand wordt gehouden.
Met een open primaire kring wordt de kern gekoeld met de SC-kring, die op zijn beurt gekoeld wordt met de CC-kring. Bij verlies van de CC-kring wordt de EC-kring opgelijnd om die functie over te nemen.
Het oplijnen van de EC-kring op de SC-kring vergt maximaal 45 minuten. Als er geen water wordt toegevoegd begint het water in de reactor binnen het uur echter te koken. Deze tijd is afhankelijk van de tijd na de stop, het waterpeil in de reactor en de mogelijkheid om het waterpeil te verhogen. Zolang de EC-kring niet op de SC-kring is opgelijnd wordt het waterniveau op peil gehouden door injectie van boorhoudend water via twee RJ-pompen.
Binnen het uur gaat het water in de reactor koken. Dat water blijft koken tot de koeling via de EC-kring is hersteld. Er zijn voldoende middelen om het verdampte water aan te vullen. De EC-kring kan onbeperkt blijven werken.

Kern in splijtstofdokken

De 2de niveau systemen (Gebouw Noodsystemen) zorgen ervoor dat de PL-dokken gekoeld blijven.
De splijtstof wordt gekoeld via de PL-kring. In dit scenario wordt de 1ste niveau PL-kring opgelijnd naar de PL-luchtkoelers van het Gebouw Noodsystemen. De splijtstof blijft ondertussen gekoeld door het opwarmen van het water in de PL-dokken. Dat water begint pas na 15 uur te koken. Wanneer de PL-kring eenmaal is opgelijnd op het Gebouw Noodsystemen, kan het onbeperkt op die manier worden gebruikt.
De PL-kring wordt manueel opgelijnd binnen 1,5 uur. Dat is veel korter dan de 15 uren die beschikbaar zijn. De PL-kring is bovendien een gesloten kring waar geen water aan moet toegevoegd worden.

Doel 1/2 stap 2: verlies van CW (primaire ultieme koudebron) + RW (eerste alternatieve ultieme koudebron) + luchtkoelers Gebouw Noodsystemen (tweede alternatieve ultieme koudebron)

De eenheid Doel 1/2 is niet ontworpen om onafhankelijk bestand te zijn tegen het volledig verlies van beide alternatieve ultieme koudebronnen. Het gelijktijdige, volledige verlies van de eerste en de twee alternatieve koudebronnen (CW+RW én luchtkoelers Gebouw Noodsystemen) is zeer onwaarschijnlijk.
Koeling van de nucleaire splijtstof en handhaving van de subkritikaliteit kunnen echter nog altijd worden gegarandeerd.

Stoomgeneratoren beschikbaar

De reactors worden gekoeld door de primaire en 2de niveau kringen via de stoomgeneratoren. In dit scenario zijn de (zelfgekoelde) AFW-pompen (2x motorpomp & 1x turbopomp) beschikbaar om de stoomgeneratoren te voeden.
Omdat het SC-systeem niet in bedrijf kan worden genomen, moet deze toestand voor een onbeperkte periode worden gehandhaafd. Daarom moet ononderbroken water naar de stoomgeneratoren worden gevoerd.
De waterreserves van Doel 1/2 geven een autonomie van meer dan tien dagen per eenheid. Met de inhoud van de LU-vijvers van Doel 3 en 4 kunnen de stoomgeneratoren van Doel 1/2 in principe enkele maanden gevoed worden.
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario.

Primaire kring open

In dit scenario begint het water in de reactor te koken en het verdampte water wordt gecompenseerd door de suppletie van vers water. Binnen het uur gaat het water in de reactor koken. Het waterpeil in de reactor wordt op een voldoende hoog peil gehouden door via de 2

RJ-pompen boorwater toe te voegen. Als back-up kan de RWST ook, gebruikmakend van de zwaartekracht, worden gedraineerd via het SC-systeem naar de reactor.
Na een verlies van alle koudebronnen wordt het reactorgebouw hermetisch afgesloten om te voorkomen dat de gevormde stoom in de omgeving zou terechtkomen. Hierdoor verhoogt de druk in het reactorgebouw. De drukverhoging kan worden vertraagd door via het SP-systeem koud water in het reactorgebouw te sproeien.
Ten vroegste na 3 dagen zal de bezwijkdruk van het reactorgebouw worden bereikt. Tegen die tijd moet de 1ste niveau (CC) of 2de niveau (EC) koudebron hersteld zijn. Als dat niet lukt, moet men het reactorgebouw op een gecontroleerde wijze afblazen.
Door de aanwezigheid van stoom, zal het reactorgebouw na verloop van tijd nog moeilijk toegankelijk zijn.

Kern in splijtstofdokken

In dit scenario begint het water in de splijtstofdokken te koken en het verdampte water wordt gecompenseerd door de suppletie van vers water. Het koken van het water in de dokken is een doeltreffende manier om de warmte van de nucleaire splijtstofelementen af te voeren.
Binnen ten vroegste 15 uur gaat het water in het splijtstofdok koken. Door de aanwezigheid van de stoom, zullen de dokken na verloop van tijd nog moeilijk toegankelijk zijn. Daarom moet de watertoevoer beschikbaar zijn vóór het koken start. De beschikbare tijd volstaat ruimschoots om de dokken terug op te vullen.
Er zijn voldoende middelen en er is voldoende tijd beschikbaar om de PL-bassins gevuld te houden. Zonder deze bijvulling duurt het nog 4,8 dagen vóór het waterpeil gezakt is tot de bovenkant van de nucleaire splijtstofelementen.

Volledige site getroffen

Als de eenheden Doel 3, Doel 4 en WAB ook zijn getroffen blijft de koeling van de reactoren van Doel 1/2 verzekerd. In dat geval moet Doel 1/2 het water van de LU-vijvers delen met Doel 3 en 4. Daardoor vermindert de grote autonomie die deze vijvers bieden een beetje.
Dit zorgt echter niet voor bijkomende cliff-edge-effecten.

- Doel 1/2 heeft zelf voldoende waterreserves (AFW, MW, EF) om 10 dagen te overbruggen. Dat is voldoende tijd om een alternatieve watertoevoer voor de stoomgeneratoren te voorzien of de met Doel 3 en 4 gedeelde LU-vijvers verder aan te vullen met externe middelen.
- Als de volledige site getroffen is, moet het beschikbare boorwater gedeeld worden. Boorhoudend water is echter alleen nodig in het scenario 'primaire kring open' en op de site zijn er nooit twee revisies tegelijk.

Doel 3 en 4 Stap 1: verlies van CW (primaire ultieme koudebron) + RN (eerste alternatieve ultieme koudebron)

De eenheden Doel 3 en Doel 4 zijn ontworpen om zelfstandig een volledig verlies van de eerste alternatieve koudebron op te vangen met behulp van de 2de niveau systemen in de bunker en de bijhorende watertoevoer vanuit de LU-vijvers.
Bij verlies van de RN-koeltorens is de CC-kring niet langer beschikbaar. Hierdoor vallen meerdere 1ste niveau veiligheidssystemen zonder koeling.
Volledig verlies van de bijvulling van de RN-koeltorens is zeer onwaarschijnlijk, aangezien er meerdere redundante bijvulmogelijkheden zijn:

Stoomgeneratoren beschikbaar

De AF-pompen en de 2de niveau systemen in de Bunker zorgen ervoor dat de centrale wordt afgekoeld en in koude stilstand gehouden.
In dit scenario wordt de primaire kring afgekoeld met de stoomgeneratoren tot temperatuur en druk voldoende zijn gedaald om de stilstandskoeling (SC) in dienst te nemen. De zelfgekoelde AF-pompen (motor & turbo) blijven beschikbaar om de stoomgeneratoren te voeden.
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario. De autonomie van de LU-vijvers bedraagt minstens 26 dagen. Dit is ruim voldoende om met externe acties de vijvers terug aan te vullen.

Primaire kring open

De 2de niveau systemen (bunker) zorgen ervoor dat de centrale in koude stilstand wordt gehouden. De kern wordt gekoeld via de SC-kring. Na verlies van de CC-kring wordt de SC-kring gekoeld door de LU-kring.
De koeling via de LU-kring wordt binnen maximum een half uur hersteld. Als de koeling niet hersteld wordt begint het water in de reactor binnen het uur te koken.
De uitbating op LU-kring kan 26 dagen blijven doorlopen. Dit is ruim voldoende om met externe acties de vijvers terug aan te vullen.

Kern in splijtstofdokken

De 2de niveau systemen in de bunker zorgen ervoor dat de PL-dokken gekoeld blijven.
De splijtstofdokken worden gekoeld via de PL-kring. Na verlies van de CC-kring wordt de PL-kring gekoeld door de LU-kring.
De koeling van de dokken via de LU-kring wordt binnen het uur hersteld. Dat is veel korter dan de 8 à 10 uren die beschikbaar zijn. Zonder koeling begint het water in de dokken pas na 8 tot 10 uur te koken. De uitbating op LU-kring kan 26 dagen blijven doorlopen. Dit is ruim voldoende om met externe acties de vijvers terug aan te vullen.

Volledige site getroffen

Als ook de andere eenheden zijn getroffen blijft de koeling van de reactoren van Doel 3 en Doel 4 verzekerd. Doel 3 en Doel 4 maken geen gebruik van kringen van Doel 1/2, behalve een back-upmogelijkheid in het scenario 'kern in dokken'. Als de LU-kring via de FE-kring ook enkele kringen van Doel 1/2 zou voeden vermindert de autonomie van de koelvijvers met enkele dagen. Gezien de zeer grote autonomie blijft er meer dan voldoende tijd over om de vijvers bij te vullen.
Andere getroffen eenheden zorgen niet voor bijkomende cliff-edge-effecten.

Doel 3 en 4 - Stap 2: verlies van CW (primaire ultieme koudebron) + RN (eerste alternatieve ultieme koudebron) + watertoevoer vanuit LU-vijvers (tweede alternatieve ultieme koudebron)

De eenheden Doel 3 en Doel 4 zijn niet ontworpen om onafhankelijk bestand te zijn tegen het volledig verlies van beide alternatieve ultieme koudebronnen.
Gelijktijdig volledig verlies van de eerste en tweede alternatieve ultieme koudebron is hoogst onwaarschijnlijk.
Koeling van de nucleaire splijtstof en handhaving van de subkritikaliteit kunnen echter nog altijd worden gegarandeerd.

Stoomgeneratoren beschikbaar

De reactors worden gekoeld door de primaire en secundaire kringen via de stoomgeneratoren.
In dit scenario zijn de (zelfgekoelde) AF-pompen (2x motorpomp & 1x turbopomp) beschikbaar om de stoomgeneratoren te voeden.
Omdat het SC-systeem niet in bedrijf kan worden genomen, moet deze toestand voor een onbeperkte periode worden gehandhaafd. Om de werking van de veiligheidsfuncties te waarborgen, moet daarom ononderbroken water naar de stoomgeneratoren gevoerd worden.
De normale totale waterinventaris (5.280 m^3) geeft een autonomie van meer dan 2 weken. Dit is ruim voldoende om extra water aan te voeren met externe middelen.
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario.

Primaire kring open

In dit scenario begint het water in het afkoelbassin te koken en wordt het verdampte water gecompenseerd door de suppletie van vers water. Het waterpeil in de reactor wordt op een voldoende hoog peil gehouden door via luchtgekoelde CV-pomp of de 2 RJ-pompen boorwater toe te voegen.
Als back-up kan de RWST ook, middels zwaartekracht, worden gedraineerd via het SC-systeem naar de reactor.
Na een verlies van alle koudebronnen wordt het reactorgebouw hermetisch afgesloten om te voorkomen dat de gevormde stoom in de omgeving zou terechtkomen. Hierdoor verhoogt de

druk in het reactorgebouw. De drukverhoging kan worden vertraagd door via het SP-systeem koud water in het reactorgebouw te sproeien. Na 24 uur bedraagt de maximumdruk 2,4 bar, wat veel minder is dan de nominale druk van 4,5 bar. Ten vroegste na 3 dagen zal de bezwijkdruk van het reactorgebouw worden bereikt. Tegen die tijd moet de primaire (CC) of 2de niveau (EC) koudebron hersteld zijn. Als dat niet lukt, moet men het reactorgebouw op een gecontroleerde wijze afblazen.
Door de aanwezigheid van stoom, zal het reactorgebouw na verloop van tijd nog moeilijk toegankelijk zijn.

Kern in splijtstofdokken
In dit scenario begint het water in de splijtstofdokken te koken en het verdampte water wordt gecompenseerd door de suppletie van vers water. Het koken van het water in de bassins is een doeltreffende manier om de warmte van de nucleaire splijtstofelementen af te voeren.
Binnen ten vroegste 8 uur (Doel 3) of 10 uur (Doel 4) gaat het water in het splijtstofdok koken. Door de aanwezigheid van de stoom, zullen de dokken na verloop van tijd nog moeilijk toegankelijk zijn. Daarom moet de watertoevoer beschikbaar zijn vóór het koken start.
Er zijn voldoende middelen en er is voldoende tijd beschikbaar om de PL-dokken gevuld te houden. Zonder deze bijvulling duurt het nog 4 dagen vóór het waterpeil gezakt is tot de bovenkant van de nucleaire splijtstofelementen.

Volledige site getroffen
Als ook de andere eenheden zijn getroffen, blijft de koeling van de reactoren van Doel 3 en Doel 4 verzekerd. Doel 3 en Doel 4 hebben geen kringen van Doel 1/2 nodig voor dit scenario, behalve om de op zich al grote autonomie te verlengen.

5.2.2.2. Voorziene (externe) acties om beschadiging van de splijtstof te voorkomen

Kerncentrale Tihange
Zoals hierboven werd uitgelegd, kunnen, in geval van volledig verlies van de koudebron, de diverse 1ste niveau en 2de niveau veiligheidssystemen (meer bepaald de diesels) niet continu werken bij gebrek aan koeling – uitgezonderd de systemen die geen waterkoeling vereisen of die zelfgekoeld zijn.

Het intern noodplan zal geactiveerd worden en indien nodig (op beslissing van de emergency director) kan ook het Engineering departement worden ingezet.

Het ongeval zal beheerd worden overeenkomstig de procedures voor ongevallen en monitoring van kritieke functies. In het bijzondere geval van een open primaire kring beschrijven de ongevalsprocedures in hun huidige versie niet volledig het beheer van dit niet in het ontwerp geïntegreerde ongeval – doorgaans werden afvoerkanalen voor de stoom voorzien maar houden de procedures hiermee echter geen rekening bij een scenario van dit type. De diverse procedures zullen worden aangepast om rekening te houden met de diverse aspecten die voor dit type van ongeval werden vastgesteld. Bovendien zal een geïntegreerde strategie worden ingevoerd voor het beheer van dergelijke ongevallen die niet in het ontwerp opgenomen zijn.

Koeling van de splijtstofdokken
De koeling van de gebruikte splijtstof gebeurt door water in deze bassins te laten koken. Bijvulling is mogelijk met conventionele (CTP, EDN, CAB) of niet-conventionele middelen. Dit kan gebeuren binnen een periode (minder dan een uur voor de conventionele middelen en enkele uren voor niet-conventionele middelen) die korter is dan de tijd die verstrijkt vóór de splijtstofelementen worden blootgelegd (verscheidene dagen).

Koeling van de dokken voor langdurige opslag (DE-gebouw).
De gebruikte splijtstof in de DE wordt gekoeld door het water in deze dokken te laten koken. Zonder suppletiewater duurt het minimaal 3 weken vóór de splijtstof degradeert. Binnen deze tijdslimiet is

bijvulling via de conventionele (STP, SDN, SAB, enz.) of de niet-conventionele middelen mogelijk binnen een periode van minder dan één uur voor de conventionele en enkele uren voor de niet-conventionele middelen (richttijden).

Niet-conventionele middelen
Op de site zijn (niet-conventionele) ultieme middelen beschikbaar om de koeling van de dokken in stand te houden (CTP en DE).

Voor Tihange 1 gaat het om de toevoer van brandbluswater naar de dokken. Dit gebeurt hetzij onrechtstreeks via een brandkraan die de tank voor het vullen van de dokken voedt of rechtstreeks vanaf een brandkraan die de dokken zelf van water voorziet. Het bluswatersysteem kan in de Maas onder druk worden gebracht via een mobiele dompelpomp (ter plaatse beschikbaar) of door een tankwagen worden bijgevuld via het CMU-systeem.

Voor Tihange 2 gebeurt de koeling met water, afkomstig van het bluswatersysteem, dat kan worden onder druk gebracht door de brandpomp van een andere, niet-getroffen eenheid of door een in de rivierbedding van de Maas geïnstalleerde motorpomp. Dit kan via eender welke brandkraan in het systeem gebeuren om de splijtstofdokken aan te vullen.

Voor Tihange 3 berust de koeling op de herbevoorrading van de splijtstofdokken en de dokken voor langdurige opslag (DE) vanuit de effluententanks van de primaire kring.

Kerncentrale Doel
Op de watervang Doel 1/2 in de Schelde is er een loskade voorzien om van op een schip via de 'Polarisleiding' water te leveren aan de centrale Doel 1/2. Er zijn geen contracten met reders om water te leveren.
Gezien de onwaarschijnlijkheid van dit scenario wordt het gebruik van externe middelen niet in overweging genomen.

5.2.2.3. Maatregelen die kunnen overwogen worden om de robuustheid van de plant te vergroten

Kerncentrale Tihange
Diversificatie van bronnen
Er wordt een nieuw productiecircuit voor gedemineraliseerd water gebouwd. Onderzoek bracht het bestaan aan het licht van een diepe grondwaterlaag op de site van Tihange. In deze grondwaterlaag werden drie putten gegraven. Zij zijn uitgerust met pompen.
Drie in deze zones gegraven diepe putten bieden een totaal debiet van ongeveer 105 m^3/u. Langdurige pomptests hebben de capaciteit van deze kalksteen-waterlaag bevestigd en haar onafhankelijkheid van de grondwaterlaag aangetoond.
Er zijn al aftakkingen op dit nieuwe systeem geïnstalleerd voor de niet-conventionele middelen. De capaciteit is groter dan de waterbehoeften van de stoomgeneratoren op lange termijn.

Wijzigen of opstellen van procedures
Er moeten procedures worden opgesteld of gewijzigd om:
- een geïntegreerde strategie te omschrijven voor dit ongeval (verlies van alle koudebronnen) waarmee geen rekening werd gehouden bij het ontwerp (beheer van de druk in het gebouw in "feed-and-bleed"-configuratie, optimaal gebruik van beschikbare middelen, enz.);
- deze nieuwe scenario's in de bestaande procedures te integreren;
- het gebruik van de nieuwe installatie voor gedemineraliseerd water voor de herbevoorrading van de eenheid door middel van niet-conventionele of conventionele systemen te integreren.

Kerncentrale Doel
De centrales zijn in staat om dit scenario op te vangen. Er zijn geen hardware-aanpassingen nodig.
De nodige procedures zijn voorzien en uitvoerbaar met het aanwezige shiftpersoneel.

5.3. Verlies van de primaire ultieme koudebron in combinatie met verlies van externe stroomvoorziening en verlies van de 1ste niveau interne back-up stroomvoorziening

Kerncentrale Tihange

In de ontwerpbasis van de site wordt rekening gehouden met het verlies van de primaire ultieme koudebron in combinatie met het verlies van de externe en 1ste niveau stroomvoorziening.
De primaire ultieme koudebron van de kerncentrale Tihange is een kunstmatige aftakking van de Maas. Indien de rivier niet meer toegankelijk is, gebruiken de eenheden in Tihange een alternatieve ultieme koudebron. Het verlies van externe stroomvoorziening en het verlies van de eerste back-up stroomvoorziening (veiligheidsdiesels) verhinderen het gebruik van 1ste niveau pompen die water aanzuigen uit de primaire ultieme koudebron. Het verlies van de 1ste niveau en van de externe stroomvoorziening hebben bijgevolg impliciet tot gevolg dat de Maas niet meer toegankelijk is voor de 1ste niveau pompen. De analyse hieronder toont aan dat de site over voldoende noodsystemen en autonomie beschikt om de tijd, nodig voor het herstel van een externe elektrische voedingsbron of voor herbevoorrading van buiten de site, te overbruggen.

Kerncentrale Doel

In de ontwerpbasis van de site wordt rekening gehouden met het verlies van de primaire ultieme koudebron in combinatie met het verlies van de externe en 1ste niveau stroomvoorziening.
Bij verlies van de externe stroomvoorziening gecombineerd met het verlies van de 1ste niveau diesels zullen de CW-pompen van Doel 1/2 en de suppletiepompen van de RN-koeltorens van Doel 3 en 4 niet gevoed worden. Het verlies van het extern stroomnet samen met het verlies van de 1ste niveau diesels impliceert dus automatisch altijd het verlies van de primaire ultieme koudebron.
De conclusies van het vorige scenario "Verlies van externe stroomvoorziening" (LOOP) en verlies van de 1ste niveau interne back-upstroomvoorziening (§5.1.2) blijven dan ook van toepassing in dit nieuwe scenario.

5.3.1. Autonomie van de site vóór beschadiging van de splijtstof

Kerncentrale Tihange

Dit scenario veronderstelt het verlies van de externe stroomvoorziening en van de 1ste niveau diesels (GDS- en GDR-generatoren) in combinatie met de onmogelijkheid om water uit de Maas te gebruiken. Wanneer het eerste veiligheidsniveau (met uitzondering van TPA-EAA) uitvalt, moeten de 2de niveau noodsystemen worden aangewend.

Tihange 1

Het water uit de grondwaterlaag is de alternatieve ultieme koudebron. Dit punt werd voorheen besproken en de beschikbare reserves van de eenheid zijn voldoende om de periode tot de start van het grondwatergebruik te overbruggen.
Met de situatie van het verlies van water uit de Maas, gecombineerd met een station black-out, werd rekening gehouden bij het ontwerp van Tihange 1. Het noodsysteem (SUR) zal worden aangewend volgens procedures die bekend staan als "beyond H3 dimensioning" en "gebruik van grondwaterputten".
Het beheer van dit ongeval en de SUR-autonomie zijn identiek aan wat beschreven wordt in paragraaf 5.1.2.1.

Kern in splijtstofdokken

In dit scenario worden de splijtstofdokken niet gekoeld door een closed-loopsysteem. Het is echter mogelijk suppletiewater toe te voegen gebruikmakend van de zwaartekracht, hetzij door middel van pomp P04Bd via tank B01Bi, of met behulp van niet-conventionele middelen, en dit binnen een

periode van enkele uren of lang vóór de gebruikte splijtstofelementen worden blootgelegd (enkele dagen).
Als één eenheid getroffen is, bedraagt de autonomie van het grondwater minimaal 30 dagen. Aanwending van de SUR biedt een autonomie van meer dan 72 uur wanneer alleen uitrusting en reserves worden gebruikt die ter plaatse beschikbaar zijn. Deze periodes zijn voldoende lang om te wachten op de aankomst van uitrusting of suppletiewater van een andere eenheid of van buiten de eenheid.
Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.

Tihange 2 en 3

In het eerste geval kan de koudebron bestaan uit hetzij de grondwaterputten (beperkte autonomie) of de Maas, via de diepe watervangstations in de rivier (onbeperkte autonomie).
Het ongeval resulteert in het verlies van de 1ste niveau veiligheidssystemen – met uitzondering van de TPA-EAA, die blijft functioneren tot de waterreserves opgebruikt of de batterijen ontladen zijn (zonder externe actie). In het ontwerp wordt een beroep gedaan op de 2de niveau noodsystemen, die de primaire ultieme koudebron (de Maas) of het alternatief (in de grondwaterlaag geboorde put) en de nooddiesels (GDU) gebruiken. Dankzij deze systemen kan de reactor in een stabiele en gecontroleerde stilstand gebracht en gehouden worden en kunnen de CTP-splijtstofdokken worden gekoeld (zie paragrafen 5.1.2.3 en 5.1.2.4).

Kern in splijtstofdokken

De koeling van de CTP-dokken (Tihange 2 en 3) en DE-dokken (Tihange 3) gebeurt met conventionele middelen, namelijk de warmtewisselaars van de respectieve systemen die met grondwater (of met rivierwater uit de Maas) worden gekoeld.
Bij volledig verlies van de watertoevoer uit de Maas (inclusief de diepe watervang) bedraagt de autonomie van het grondwater minimaal 30 dagen als slechts één eenheid getroffen is.
Als Tihange 3 de getroffen eenheid is, kunnen de splijtstofdokken van het DE-gebouw gekoeld worden met water uit de CEU-putten in Tihange 2 of Tihange 3. De dokken worden gekoeld door de CTP-warmtewisselaars, die op hun beurt gevoed worden met grondwater.
De 2de niveau noodssystemen, gevoed door de GDU-diesels, kunnen de reactor in een stabiele en gecontroleerde stilstand brengen en de CTP- en DE-dokken koelen (Tihange 3). Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.
Het enige mogelijke probleem is dat de dieselbrandstof voor de GDU-nooddiesels opgebruikt raakt, wat na minimaal één week zal gebeuren. Door deze autonomie kunnen compenserende middelen worden ingezet. De waterautonomie van de alternatieve ultieme koudebron is onbeperkt als de diepe watervangstations in de bedding van de Maas beschikbaar blijven en bedraagt minimaal 30 dagen (slechts één eenheid getroffen) indien deze stations uitvallen (grondwaterautonomie). Door deze autonomie kunnen compenserende middelen worden ingezet.

Verschillende eenheden van de site getroffen

Het beheer voor Tihange 1 is vergelijkbaar met dat voor het geval "Alleen Tihange 1 getroffen". Het bijzondere kenmerk is het gemeenschappelijk gebruik van het grondwater.
Het beheer voor Tihange 2 of 3 is vergelijkbaar met dat voor het geval "Alleen Tihange 2 of Tihange 3 getroffen". Het bijzondere kenmerk is het gemeenschappelijk gebruik van het grondwater als de watervang(en) in de bedding van de Maas voor eenheid 2 en/of 3 niet beschikbaar is (zijn).
Bovendien zou ook een slangverbinding tussen het grondwatersysteem in Tihange 1 en één van de CEU-pompen van de Maas in Tihange 2 tot stand kunnen worden gebracht.

Kern in splijtstofdokken

In het slechtste geval kunnen de dokken gekoeld worden door watersuppletie met niet-conventionele middelen (mobiele pompen, slangen, diesels) die aanwezig zijn op de site. Zij kunnen binnen enkele uren worden ingezet, dus vóór de degradatie van de splijtstof, die pas na verscheidene dagen begint. In dat geval moet in aflaatkanalen voor de stoom worden voorzien.

DE-splijtstofdokken

Indien diverse eenheden, inclusief Tihange 3, getroffen worden door het volledige verlies van rivierwater uit de Maas, kunnen de splijtstofdokken in het DE-gebouw op korte termijn niet meer met de conventionele systemen worden gekoeld (beperking van de koudebron). Niet-conventionele

middelen (pompen, slangen, diesels), ingezet binnen enkele uren, kunnen suppletiewater afleveren vóór de gebruikte splijtstofelementen worden blootgelegd (wat ten vroegste na 3 weken gebeurt). Er zijn ook voorzieningen getroffen voor het aflaten van deze stoom.

Kerncentrale Doel
De autonomie voor dit scenario is identiek aan de autonomie, beschreven in paragraaf 5.1.2.4. In de beschrijving van de autonomie van de site wordt geen rekening gehouden met middelen die rivierwater uit de Schelde gebruiken.

5.3.2. Voorziene (externe) acties om beschadiging van de splijtstof te voorkomen

Kerncentrale Tihange
In de ontwerpbasis van de site wordt rekening gehouden met het verlies van de primaire ultieme koudebron in combinatie met het verlies van de externe en 1ste niveau stroomvoorziening.
Het personeel dat bij het beheer van dit type ongevallen betrokken is, ontvangt een aangepaste opleiding in het gebruik van het noodsysteem SUR (in Tihange 1) of het 2de niveau noodsysteem (Tihange 2 en 3). Het interne noodplan wordt opgestart met het oproepen van de wachtrol-teams zoals beschreven wordt in Hoofdstuk 6.
Op korte termijn is geen actie of uitrusting van buiten de site nodig.

Kerncentrale Doel
De (externe) acties voor dit scenario zijn identiek aan die beschreven in paragraaf 5.1.2.5. In de beschrijving van de (externe) acties wordt geen rekening gehouden met middelen die rivierwater uit de Schelde gebruiken.

5.3.3. Maatregelen die kunnen overwogen worden om de robuustheid van de installaties te vergroten

Kerncentrale Tihange
De maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid te verhogen, zijn identiek aan die welke worden beschreven in paragraaf 5.1.2.6.

Kerncentrale Doel
De maatregelen die kunnen worden overwogen om de robuustheid te verhogen, zijn identiek aan die welke worden beschreven in paragraaf 5.1.2.6. De beschrijving van de maatregelen verwijst niet naar een maatregel om de primaire ultieme koudebron te herstellen.

5.4. Verlies van de primaire ultieme koudebron in combinatie met een volledige Station Black-out

Kerncentrale Tihange

De primaire ultieme koudebron van Kerncentrale Tihange is een kunstmatige aftakking van de Maas. Indien de Maas niet meer toegankelijk is, gebruiken de eenheden in Tihange een alternatieve ultieme koudebron. Dit hoogst onwaarschijnlijke scenario combineert een volledige station black-out met het verlies van de primaire ultieme koudebron. Een dergelijk scenario maakt geen deel uit van de ontwerpbasissen van de eenheden in Tihange. De eenheden ontvangen nog grondwater of water van de diepe watervangstations, maar kunnen het niet meer gebruiken bij gebrek aan elektriciteit.
De besluiten van het scenario 'Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP) en verlies van alle on site back-upstroomvoorzieningen (volledige Station Black-out)' (paragraaf 5.1.3) blijven daarom ook in dit scenario toepasbaar.

Kerncentrale Doel

Bij een volledige station black-out worden de CW-pompen van Doel 1/2 en de suppletiepompen van de RN-koeltorens van Doel 3 en 4 niet gevoed. Daarom impliceert een volledige station black-out automatisch altijd het verlies van de primaire ultieme koudebron.
De besluiten van het scenario 'Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP) en verlies van alle on site back-upstroomvoorzieningen (volledige Station Black-out)' (§ 5.1.3) blijven daarom ook in dit scenario toepasbaar.

5.5. Verlies van de primaire ultieme koudebron in combinatie met verlies van externe stroomvoorziening en Design Basis Earthquake

In dit scenario wordt verondersteld dat na de Ontwerpbasis Aardbeving (DBE) het extern elektriciteitsnet en de primaire ultieme koudebron niet meer beschikbaar zijn.
Bij verlies van externe stroomvoorziening moeten alle veiligheidssystemen gevoed worden door de reactoreenheden op de site die niet zijn uitgevallen, de diesels die op de site aanwezig zijn, de batterijen en de turbopompen.
In dit scenario is de enige beschikbare uitrusting de uitrusting die ontworpen is om bestand te zijn tegen een DBE.
De analyse hieronder toont aan dat de sites over noodmiddelen en voldoende autonomie beschikken om een ongeval van dit type te beheren binnen de tijdspanne die nodig is om een externe voedingsbron te herstellen of herbevoorrading van buiten de site te verkrijgen.

5.5.1. Autonomie van de site vóór beschadiging van de splijtstof

Kerncentrale Tihange
De bestendigheid van de dam in Ampsin-Neuville (stroomafwaarts van de site) tegen een in de ontwerpbasis opgenomen aardbeving (DBE) werd geanalyseerd. De belangrijkste conclusie is dat zijn waterinsluitingsfunctie behouden zou blijven. Daarom is het ergste in overweging te nemen scenario een langzame daling van het peil van de Maas na een eventuele beschadiging van de systemen die de dam in Ampsin-Neuville regelen. De studie werd voltooid tot het niveau van de "Review Level Earthquake" (RLE).
Als het peil van de Maas behouden blijft, wat het meest waarschijnlijke geval is, stemt het ongeval overeen met een LOOP zoals beschreven wordt in paragraaf 5.1.1.
Het geval van geleidelijke vermindering wordt hierna besproken.

Tihange 1
Het geleidelijk verlies van aanzuig door de CEB-pompen (onderdeel van de ontwerpbasis) wordt in overweging genomen. Het gelijktijdige verlies van externe stroomvoorziening leidt tot het gebruik van de 1ste niveau veiligheidsdiesels (die seismisch gekwalificeerd zijn).
Na heruitlijning voedt het grondwatersysteem het ruw-watersysteem (CEB), dat normaal water aanzuigt uit de Maas. Dankzij deze veiligheidswatertoevoer vanuit de CEB kunnen de gevolgen van de gebeurtenis opgevangen worden, ongeacht de werkingstoestand van de eenheid op het ogenblik van het ongeval (stoomgeneratoren beschikbaar, primaire kring geopend of kern in splijtstofdokken). Dit systeem kan namelijk de veiligheidsdiesels koelen, de stoomgeneratoren van water voorzien, de kern koelen via de RRA-kring en de dokken koelen.

De autonomie van de 1ste niveau veiligheidsdiesels bedraagt minimaal 3,5 dagen. De autonomie van het grondwater bedraagt minimaal 30 dagen. In dit scenario gebruiken Tihange 2 en Tihange 3 het diepe watervangstation in de Maas en hebben zij hun CEB-putten bijgevolg niet nodig. Tihange 1 beschikt dan ook gedurende minimaal 30 dagen over twee putten. Dankzij deze periodes kan de tijd tot de aankomst van uitrusting of water van een andere eenheid of van buiten de site worden overbrugd. Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.

Tihange 2 en 3
Dit scenario stemt overeen met het geleidelijk verlies van aanzuig in de CEB-pompen. Dit probleem wordt opgevangen door over te schakelen op de diepe watervangstations van de Maas. Het gelijktijdige verlies van externe stroomvoorziening leidt tot het gebruik van de 1ste niveau veiligheidsdiesels.
De diepe watervangstations in de Maas, die beschikbaar blijven bij beschadiging van de dam in Ampsin-Neuville, kunnen verbonden worden met het ruw-watersysteem (CEB). Dankzij deze veiligheidswatertoevoer vanuit de CEB kunnen de gevolgen van de gebeurtenis beheerd worden,

ongeacht de werkingstoestand van de eenheid op het ogenblik van het ongeval (stoomgeneratoren beschikbaar, primaire kring geopend of kern in splijtstofdokken). Dit systeem kan namelijk de werking verzekeren van de 1ste niveau veiligheidssystemen: de koeling van de veiligheidsdiesels, de toevoer naar de stoomgeneratoren, de koeling van de kern door het RRA-systeem en de koeling van de dokken.

Splijtstofdokken
De koeling van de CTP-dokken en de dokken in het DE-gebouw (Tihange 3) wordt dan verzekerd door de CEB en de CRI. Hiervoor moeten de CTP- en STP-pompen (Tihange 3) opnieuw gevoed worden vanaf back-uppanelen. Dit gaat gepaard met een elektrische oplijning, uitgevoerd lang vóór de dokken koken, en dus lang vóór het verstrijken van de periode tot de splijtstof beschadigd is (verscheidene dagen).

De autonomie van de 1ste niveau veiligheidsdiesels bedraagt minimaal één week, en het gebruik van de diepe watervangstations in de Maas resulteert in een onbeperkte waterautonomie. Dankzij deze periodes kan de tijd tot de aankomst van uitrusting of water van een andere eenheid of van buiten de site worden overbrugd. Daarom is er geen cliff-edge-effect voor dit scenario.

Verschillende eenheden van de site getroffen
De omstandigheid dat diverse eenheden getroffen zijn, houdt geen aanvullende beperking in ten opzichte van de vorige situatie aangezien Tihange 2 en Tihange 3 geen grondwater gebruiken.

Kerncentrale Doel

Doel 1/2
Doel 1/2 is ontworpen om onafhankelijk bestand te zijn tegen het volledige verlies van de externe stroomvoorziening gecombineerd met het verlies van de primaire ultieme koudebron (bij belasting). Dit wordt beheerd met de 2de niveau noodsystemen. Alle 2de niveau noodsystemen van Doel 1/2 zijn volledig ontworpen om te weerstaan aan de Ontwerpbasis Aardbeving (DBE).

In Doel 1/2 zijn de volgende systemen ontworpen om bestand te zijn tegen de DBE:
- alle 2de niveau systemen in het Gebouw Noodsystemen;
- de primaire kring (RC);
- het stilstandskoelsysteem (SC);
- het 2de niveau systeem tot de eerste isolatieafsluiter (FW/MS);
- de opslagtank voor gedemineraliseerd water van 1500 m³ (MW).

Na het ongeval in Fukushima werd een seismische upgrade van de AFW-turbopompen en hun tanks (kleine opslagtank - 100 m³) doorgevoerd.
Bij verlies van externe stroomvoorziening blijven de 1ste niveau en de 2de niveau diesels bedrijfsklaar. De huidige vier 1ste niveau veiligheidsdiesels zijn niet ontworpen voor de DBE.

Stoomgeneratoren beschikbaar
De aardbevingsbestendige 2de niveau systemen in het Gebouw Noodsystemen zorgen ervoor dat de eenheid wordt afgekoeld en in koude stilstand gehouden.
Alle veiligheidsfuncties blijven gewaarborgd.
De nakomende warmte wordt afgevoerd via de 2de niveau EF-kring.
Wanneer de 1ste niveau diesels niet meer beschikbaar zijn, blijft de AFW-turbopomp bovendien beschikbaar om de stoomgeneratoren opnieuw te vullen vanuit de AFW-tank.
Er zijn geen cliff-edge-effecten voor dit scenario.

De ter plaatse beschikbare watertoevoer is voldoende voor de koeling tot men op de EC-kring kan overschakelen voor de koeling van de SC-kring. Na deze overschakeling wordt de primaire kring door de SC-kring gekoeld en is er geen watertoevoer meer nodig.
Na ongeveer 5 dagen moeten de 2de niveau diesels bijgevuld worden met brandstof. Dit is meer dan voldoende tijd om diesel te halen op andere plaatsen op of buiten de site.

Primaire kring open

De 2de niveau systemen zorgen ervoor dat de centrale in een koude stilstand gehouden wordt.
De afvoer van de nakomende warmte van de geopende reactor gebeurt m.b.v. SC-pompen die worden gevoed door de 2de niveau diesels. De koeling van de SC-pompen en koelers wordt overgenomen door de EC-kring.
Als de koeling niet hersteld wordt begint het water in de reactor binnen het uur te koken. Deze tijd is afhankelijk van de tijd na stop, het waterpeil in de reactor en de mogelijkheid om het waterpeil te verhogen.
Dat water blijft koken tot de koeling via de EC-kring na maximum 45 minuten is hersteld. De inventaris wordt op peil gehouden door bijvulling met de RJ-kring of door gravitair de RWST te ledigen naar de RC-kring. De EC-kring kan onbeperkt blijven werken. Er moet geen water toegevoerd worden.
Na 5,5 dagen moeten de 2de niveau diesels bijgevuld worden met brandstof. Dat is ruim voldoende tijd om brandstof te halen van op andere plaatsen binnen of buiten de site.

Kern in splijtstofdokken
De 2de niveau systemen zorgen ervoor dat de splijtstofdokken verder gekoeld worden.
De PL-kring wordt binnen de 1,5 uur opgelijnd naar het Gebouw Noodsystemen. Dat is sneller dan de beschikbare tijd van 15 uur, voor het koken aanvangt.
De PL-kring is een gesloten systeem. Er moet geen water toegevoerd worden.

Na 7 dagen moeten de 2de niveau diesels bijgevuld worden met brandstof. Dat is ruim voldoende tijd om brandstof te halen van op andere plaatsen binnen of buiten de site.

Hele site getroffen
Als ook de andere eenheden zijn getroffen blijft de koeling van de reactoren van Doel 1/2 verzekerd.
De voorraad van de LU-vijvers moet gedeeld worden met de andere getroffen eenheden. De voorraad (3 x 30.000 m³) is voldoende groot.
Andere getroffen eenheden zorgen niet voor bijkomende cliff-edge-effecten.

Doel 3 en 4
De eenheden Doel 3 en Doel 4 zijn ontworpen om onafhankelijk bestand te zijn tegen het volledige verlies van de externe stroomvoorziening gecombineerd met het verlies van de primaire ultieme koudebron. De 1ste niveau veiligheidssystemen en 2de niveau noodsystemen van Doel 3 en Doel 4 zijn allemaal volledig ontworpen om bestand te zijn tegen de SSE.
De conclusies van het scenario "Verlies van externe stroomvoorziening" (LOOP) blijven ook in dit scenario toepasselijk.
Het verlies van het extern net gaat altijd samen met het verlies van de primaire ultieme koudebron.

5.5.2. Voorziene (externe) acties om beschadiging van de splijtstof te voorkomen

Kerncentrale Tihange
Het verlies van koudebron en externe stroomvoorziening na een aardbeving met een kracht vergelijkbaar met de DBE werd in overweging genomen in het ontwerp van de site.
Dit type ongeval wordt door het shiftpersoneel in de controlezaal en door de wachtrol-teams beheerd. Het interne noodplan, beschreven in hoofdstuk 6, wordt opgestart (met het oproepen van de wachtrol-teams). De site heeft voldoende reserves van dieselbrandstof en smeerolie. Daarom moeten op korte termijn geen externe acties worden overwogen.

Kerncentrale Doel
Van ELIA wordt verwacht dat ze de centrale zo snel mogelijk terug van spanning voorziet. Zie § 5.1 voor de beschrijving van de hiervoor beschikbare werkwijzen en de bijhorende hersteltijden.
Op de watervang Doel 1/2 in de Schelde is er een loskade voorzien om van op een schip via de 'Polarisleiding' water te leveren aan de centrale Doel 1/2. Er zijn geen contracten met reders om water te leveren.

5.6. Opslag van gebruikte splijtstof

Kerncentrale Tihange – DE-gebouw

Zoals eerder werd aangegeven, zijn de diverse betrokken systemen in de dokken nauw verbonden met de werking van de eenheid Tihange 3 en dus met de toestand van de eenheid op het ogenblik dat een eventueel ongeval zich voordoet. Daarom, en voor een beter begrip, werden de analyses met betrekking tot de koeldokken beschreven in de paragrafen over de eenheden (i.e. Tihange 3).

Kerncentrale Doel – SCG-gebouw

De opslag van gebruikte splijtstof in de containers opgesteld in het splijtstofcontainergebouw SCG is volledig passief. Er is geen elektriciteit of actieve koudebron nodig om de containers te koelen.
De splijtstof wordt opgeslagen in transportcontainers die bestand zijn tegen extreme omstandigheden die kunnen voortkomen uit ongevallen op de weg. Het opslaggebouw zorgt samen met de container voor biologische bescherming en een verbeterde warmteafvoer in normale omstandigheden.
Verlies van externe stroomvoorziening, verlies van de 1ste niveau diesels, verlies van de 2de niveau diesels, verlies van de primaire ultieme koudebron en verlies van de alternatieve koudebronnen hebben geen enkele impact op de koeling of integriteit van de containers opgesteld in het SCG.

5.7. Synthese van de belangrijkste resultaten voorgesteld door de exploitant

Op basis van de informatie in de weerstandsverslagen van de exploitant en de aanvullende informatie die de exploitant tijdens technische vergaderingen en inspecties ter plaatse heeft verstrekt, leverde het thema "verlies van stroomvoorziening en verlies van ultieme koudebron" de hierna beschreven resultaten op.

Scenario's
De omschrijving van de geselecteerde scenario's en de diverse toestanden van de reactor, vermeld in deze scenario's (stoomgeneratoren beschikbaar, primaire kring geopend en verbonden met het stilstandskoelsysteem, kern volledig ontladen in de splijtstofdokken), zijn in overeenstemming met de specificaties van de weerstandstests.

Rekening houdend met de
- veiligheidssystemen van de diverse niveaus (1ste niveau veiligheidssystemen en 2de niveau noodsystemen) in de Belgische kerncentrales;
- vele ultieme koudebronnen met verschillende middelen om water aan te zuigen: rivier bij de site (Schelde in Doel, Maas in Tihange), kunstmatige koelvijver (Doel) en grondwaterputten (Tihange);

werden de volgende scenario's beoordeeld:
1. verlies van externe stroomvoorziening (LOOP);
2. verlies van externe stroomvoorziening en verlies van 1ste niveau interne stroomvoorziening (station black-out);
3. verlies van externe stroomvoorziening en verlies van 1ste niveau en 2de niveau interne stroomvoorziening (volledige station black-out);
4. verlies van de primaire ultieme koudebron;
5. verlies van de primaire ultieme koudebron en de alternatieve ultieme koudebronnen;
6. verlies van de primaire ultieme koudebron samen met verlies van de externe stroomvoorziening en de 1ste niveau interne stroomvoorziening;
7. verlies van de primaire ultieme koudebron samen met verlies van de externe stroomvoorziening en van de 1ste niveau en 2de niveau interne stroomvoorzieningen;
8. verlies van de primaire ultieme koudebron samen met verlies van de externe stroomvoorziening in combinatie met DBE-aardbeving.

Initiërende gebeurtenissen (bijvoorbeeld een aardbeving) en hun gevolgen voor de veiligheidsfuncties worden niet systematisch in overweging genomen bij het beheer van de eerste 7 scenario's en bij de bepaling van de autonomie van de uitrusting die nodig is om deze scenario's te beheren. Zo worden niet-seismische tanks (water, dieselbrandstof/olie) als aanvullende reserves gebruikt in elk scenario.

De impact van de initiërende gebeurtenissen "overstroming" en "aardbeving" werd al gedetailleerd besproken in de vorige hoofdstukken.
Bovendien wordt in het laatste scenario (scenario 8) aangenomen dat na de Ontwerpbasis Aardbeving (Design Basis Earthquake of DBE) het extern elektriciteitsnet en de primaire ultieme koudebron niet meer beschikbaar zijn. Voor dit scenario wordt alleen de uitrusting die ontworpen is om bestand te zijn tegen een DBE, in overweging genomen in de beoordeling.

Diverse eenheden getroffen op de site
Voor elk scenario testte de exploitant eerst de afzonderlijke impact op elke reactoreenheid van de site. De gelijktijdige impact op alle eenheden van een kerncentrale werd door de exploitant eveneens systematisch onderzocht voor de diverse scenario's (meer in het bijzonder wat de autonomie van de verschillende redmiddelen betreft).

Veiligheidsfuncties

De specificaties van de weerstandstests bepalen dat de exploitant de middelen moet identificeren om de drie fundamentele veiligheidsfuncties (koeling van de splijtstof, beheersing van de reactiviteit, insluiting van de radioactiviteit) en ondersteuningsfuncties (stroomvoorziening, koeling door ultieme koudebron) in stand te houden.

Wat de drie veiligheidsfuncties betreft, is de splijtstofkoeling de meest relevante functie wanneer men geconfronteerd wordt met scenario's waarbij stroomvoorziening en koudebronnen uitvallen. Zij werd dan ook in detail onderzocht. De veiligheidsfunctie "beheersing van de reactiviteit" stelt geen grote problemen zolang geen extra zuiver water naar de primaire kring wordt gevoerd. Bij het onderzoek van de veiligheidsfunctie "insluiting van radioactiviteit" focuste men op de handhaving van de integriteit van het containment.

De herbeoordeling stelde de exploitant in staat om voor verbetering vatbare punten voor bepaalde scenario's te identificeren. De exploitant stelde een aantal aanvullende hardwareverbeteringen (bijvoorbeeld met betrekking tot conventionele middelen) of verbeteringen aan procedures voor, waarvan sommige al ten uitvoer werden gelegd.

Ontwerpbasis

De diverse scenario's maken deel uit van de oorspronkelijke ontwerpbasis, werden tijdens de eerste periodieke veiligheidsevaluatie opnieuw getest of zijn "beyond design basis" scenario's.

- <u>Oorspronkelijke ontwerpbasis</u>

De scenario's "Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP)" en "Verlies van de primaire ultieme koudebron (LUHS)" maken deel uit van de oorspronkelijke ontwerpbasis van alle Belgische eenheden. Het scenario "Verlies van primaire UHS, LOOP en aardbeving DBE" maakt deel uit van het oorspronkelijke ontwerp voor alle Belgische eenheden, uitgezonderd de Doel eenheden 1/2.
Voor de vier meest recente eenheden (Tihange 2-3 en Doel 3-4) worden de scenario's "Station black-out (SBO)" en "Verlies van primaire UHS en SBO" eveneens in overweging genomen in de oorspronkelijke ontwerpbasis van deze eenheden. Met een tweede veiligheidsniveau, "bunker" genoemd, kunnen deze situaties worden opgevangen. Alle systemen die deel uitmaken van het tweede veiligheidsniveau (geclassificeerde elektrische en I&C-systemen, fluïdumkringen enz.) zijn fysiek en elektrisch onafhankelijk van het eerste veiligheidsniveau. Deze geclassificeerde systemen voldoen bovendien aan veiligheidseisen zoals redundantie, onafhankelijkheid, kwalificatie (bv. aardbeving, vliegtuigcrash), tests enz.

- <u>Herevaluatie ontwerp tijdens de eerste periodieke veiligheidsevaluatie</u>

Voor de oudste eenheden (Tihange 1 en Doel 1/2) werd bij het oorspronkelijke ontwerp geen rekening gehouden met de scenario's "Station black-out SBO" en "Verlies van primaire UHS en SBO", "Verlies van primaire UHS, LOOP en aardbeving DBE" (alleen voor Doel 1/2 omwille van de DBE-aspecten).
Tijdens de eerste periodieke veiligheidsevaluatie van deze eenheden werd een tweede veiligheidsniveau toegevoegd voor de koudebronnen en de stroomvoorziening. Dit tweede niveau van noodsystemen, "SUR" ("Systèmes d'Ultime Repli") genoemd voor Tihange 1 en "GNS" ("Gebouw Noodsystemen") voor Doel 1/2, kan de bovengenoemde scenario's opvangen.

Aan de verbeteringen die in dat kader werden doorgevoerd, zijn bepaalde beperkingen verbonden. De belangrijkste worden hierna toegelicht.

- Voor Doel 1/2: het tweede niveau heeft alleen betrekking op de statussen van de vermogenswerking (en de afvoer van de nakomende warmte in de splijtstofdokken in normale omstandigheden). De situatie werd indertijd als aanvaardbaar beschouwd omdat de duur van de stilstanden beperkt was. Bijgevolg zijn 2de niveau systemen niet vereist bij stilstand. Het is echter duidelijk dat de diesels fysiek aanwezig zijn op de site en dat ze gebruikt zouden worden als zij niet in onderhoud zijn. Het systeem voor de afvoer van nakomende warmte werd ontworpen voor een warmtebelasting die overeenstemt met 7 dagen na de reactorstop (behoudsgezinde raming), aangezien de eenheid eerst gedurende een zekere periode door de

stoomgeneratoren gekoeld wordt. Sindsdien werden procedures ontwikkeld en hardwareverbeteringen doorgevoerd om dat scenario beter te beheren.
Dit punt werd vastgesteld in het kader van het "Long Term Operation" ("LTO")-project voor deze twee eenheden, en is onderwerp van een verbeteringsproject.

- Voor Tihange 1: het tweede niveau is niet volledig seismisch gekwalificeerd omdat dit gevaar door het eerste niveau werd beheerd; met het tweede niveau kunnen een SBO en bepaalde externe gevaren worden opgevangen. Wat de stilstanden betreft, worden de RRA- en CTP-pompen niet opnieuw gevoed door het tweede niveau.

- Niet opgenomen in de ontwerpbasis (Beyond design basis)

De scenario's "Volledige SBO", "Verlies van primaire en alternatieve UHS", "Verlies van primaire UHS en volledige SBO" worden voor alle Belgische eenheden beschouwd als situaties die niet zijn opgenomen in de ontwerpbasis.

Gelet op de aanwezigheid van een tweede veiligheidsniveau dat onafhankelijk is van het eerste, zijn de installaties in de Belgische eenheden voldoende robuust om opgewassen te zijn tegen diverse scenario's zoals "SBO", "Verlies van primaire UHS", "Verlies van primaire UHS en SBO", "Verlies van primaire UHS, LOOP en aardbeving DBE". De oudste eenheden zijn minder robuust, maar de exploitant heeft acties omschreven om de toestand te verbeteren.

5.7.1. Scenario "Verlies van externe stroomvoorziening (LOOP)"

In de oorspronkelijke ontwerpbasis van de Belgische eenheden werd met dit scenario rekening gehouden. Dit ongeval wordt beheerd door de 1ste niveau veiligheidssystemen (en bij een storing door de 2de niveau noodsystemen – cf. scenario "SBO"). De exploitant beoordeelde de autonomie voor dieselbrandstof en smeerolie voor de diesels die nodig zijn voor deze veiligheids- en noodsystemen.

Er is geen cliff-edge-effect aangezien de autonomie voldoende is voor minimaal 72 uur. Deze autonomie dekt de tijd tot de aankomst van uitrusting of water van een andere eenheid of van buiten de site.

De exploitant overweegt de wijziging of het schrijven van procedures om de autonomie van de diesels verder te verbeteren:

- een procedure zal worden aangepast om de smeerolie- en brandstofsuppletie van de diesels manueel te vervroegen;
- er zal een procedure worden opgesteld voor het bepalen van de niet-essentiële verbruikers die van de diesels moeten worden losgekoppeld om het brandstofverbruik te beperken.

5.7.2. Scenario "Station black-out (SBO)"

Dit scenario werd bestudeerd in de oorspronkelijke ontwerpbasis van de vier recentste Belgische eenheden (Tihange 2 en 3, Doel 3 en 4) en tijdens de eerste periodieke veiligheidsevaluatie voor de oudste eenheden (Tihange 1 en Doel 1/2). Er is geen cliff-edge-effect. Voor Tihange 1 wordt in een verhoging van de robuustheid van de installaties voorzien op het tweede veiligheidsniveau (om "feed-and-bleed" te voorkomen) (zie het tweede punt hierna).

De herevaluatie van de exploitant vestigt voor Tihange 1 terecht de aandacht op een beperking met betrekking tot het huidige ontwerp van de eenheid: de onmogelijkheid om het RRA-systeem aan te sluiten op de noodvoedingsbronnen, die nadelig is voor de situatie van de configuraties met "open primaire kring". De overwogen reactie is de "feed-and-bleed", die tot doel heeft te voorkomen dat de situatie verergert en tot een ernstig ongeval leidt.

Zoals hoger werd uitgelegd, kan het tweede niveau voor Doel 1/2 dat scenario alleen volledig opvangen wanneer de eenheid aanvankelijk in vermogensbedrijf was. Dit aspect wordt niet duidelijk beschreven in de evaluatie van de exploitant. Er werden echter geleidelijk procedure- en hardwarewijzigingen doorgevoerd die het beheer van dit scenario verbeteren. Andere verbeteringen worden verwacht in het kader van het "Long Term Operation" ("LTO")-project.

De exploitant plant analyses van hardwarewijzigingen. Bovendien worden de herziening en het opstellen van procedures verwacht:

- de introductie van een automatische bijvulling van de DUR-dieselbrandstoftank vanuit de CVA-brandstoftank zal bestudeerd worden (Tihange 1);
- in het kader van het LTO-project voor Tihange 1 zal de mogelijkheid worden onderzocht om de koelpompen van de splijtstofdokken en de stilstandskoelpompen van stroom te voorzien vanuit het SUR-systeem (6 kV);
- de bestaande SUR-procedures zullen herzien worden om watersuppletie en stoomafvoer in de splijtstofdokken te verzekeren (Tihange 1);
- er zal een procedure worden opgesteld voor het bepalen van de niet-essentiële verbruikers die van de diesels moeten worden losgekoppeld om het brandstofverbruik te beperken.

5.7.3. Scenario "Volledige SBO"

Dit scenario is voor alle Belgische eenheden een situatie die geen deel uitmaakt van de ontwerpbasis. Om cliff-edge-effecten te voorkomen heeft de exploitant een aantal bijkomende maatregelen voorgesteld.

Voor de toestanden waarbij de stoomgeneratoren beschikbaar zijn, berust het beheer van dit scenario op het afvoeren van de nakomende warmte via de hulpvoedingswaterturbopomp en het aflaten van de stoomgenerator in de atmosfeer. Als dit proces fysiek uitvoerbaar is, moeten de volgende aspecten onder de aandacht worden gebracht:

- als de eenheid zich niet vanaf het begin in vermogensbedrijf bevindt, is voldoende druk in de primaire kring vereist om de turbopomp te starten. In Doel 1/2 bijvoorbeeld is die druk vrij hoog (24 bar). Een stijging van de druk en de temperatuur is niet gepland in de beheeracties, die bestaan uit een drukverlaging en een snelle temperatuurverlaging om de afdichtingen van de primaire pompen te beschermen bij verlies van injectie in deze afdichtingen. De exploitant bevestigde zijn strategie in dat geval, namelijk een tijdelijke druk- en temperatuurverhoging om de turbopomp te starten. De primaire pompen worden namelijk geacht een tijdelijke belasting te overleven (engineering judgment op basis van testresultaten);
- de regelkleppen voor het hulpvoedingswater en het aflaten in de atmosfeer kunnen lokaal manueel bediend worden na verlies van perslucht en/of batterijen. Deze handelingen worden echter uitgevoerd in moeilijke toegangscondities en de betrokken personen hebben geen zicht op de resultaten (geen aanduiding van het peil in de stoomgeneratoren). Bijgevolg bestaat het gevaar voor overvulling (of leegkoken) van de stoomgenerator.

Hierna worden de belangrijkste verbintenissen van de exploitant beschreven:

- gebruik van niet-conventionele middelen:
  - om de stoomgeneratoren en splijtstofdokken bij te vullen,
  - om de suppletie voor de primaire kring in open configuratie (voor Tihange 2 en 3) te garanderen,
  - om overdruk in het reactorgebouw te voorkomen;
  - om de stroomvoorziening naar de instrumentatie en de bedieningspanelen, motoren, kleppen te herstellen;
  - om het noodpersluchtcircuit bedrijfsklaar te maken;
- haalbaarheidsstudie om de capaciteit van het hulpvoedingswatersysteem (EAS) te vergroten en een noodvoedingswatermotor toe te voegen (Tihange 1);
- haalbaarheidsstudie over betrouwbare manuele acties op de afblaaskleppen van de stoomgeneratoren (Tihange 1 en Tihange 3);
- opstellen van een specifieke procedure "Volledige SBO".

5.7.4. Scenario "Verlies van de primaire ultieme koudebron"

Dit scenario werd in de originele ontwerpbasis van alle Belgische eenheden bestudeerd, meer in het bijzonder voor het geval waarbij één eenheid van de site wordt getroffen door dit ongeval.

Er is geen cliff-edge-effect. Dit scenario wordt beheerd door de 2de niveau noodsystemen (grondwaterputten voor Tihange en koelvijvers voor Doel). Voor Tihange 2 en 3 zuigen diepe noodwatervangstations (2 per eenheid) rechtstreeks water aan uit de bedding van de Maas. Volgens de veiligheidsanalyserapporten worden deze noodwatervangstations beschouwd als een aanvullende diepe verdedigingslinie voor deze eenheden.
De grondwaterputten of koelvijvers bieden een autonomie van 30 dagen (Tihange) of 26 dagen (Doel) wanneer één eenheid van de site door het verlies van primaire UHS getroffen is, overeenkomstig de ontwerpbasis. De exploitant bevestigde dat de autonomie van de vijvers voldoende groot is als alle eenheden van Doel door het verlies van de primaire UHS getroffen zijn (scenario niet opgenomen in de ontwerpbasis). Als alle eenheden van Tihange door het verlies van de primaire UHS getroffen zijn, biedt het putwater een autonomie van 3 weken zonder de noodwatervangstations (Tihange 2 en 3). Als deze watervangstations beschikbaar zijn, is de autonomie onbeperkt voor Tihange 2 en 3 en bedraagt ze 30 dagen voor Tihange 1.

De exploitant is van plan een nieuwe procedure op te stellen om een ongeval in meer dan één eenheid te beheren en het waterverbruik van het tweede veiligheidsniveau (putten of vijvers) te optimaliseren.

5.7.5. Scenario "Verlies van de primaire en alternatieve ultieme koudebronnen"

Het scenario "Verlies van primaire en alternatieve ultieme koudebronnen" werd niet bestudeerd in de oorspronkelijke ontwerpbasis van de Belgische eenheden.

Voor Tihange doen zich cliff-edge-effecten voor op het ogenblik van het verlies van de koeling van de stoomgeneratoren wanneer de stoomgeneratoren beschikbaar zijn, en op het ogenblik waarop alle boorwatertanks leeg zijn wanneer de primaire kring open is. In die gevallen is de exploitant van oordeel dat voldoende tijd beschikbaar is om de NCM-uitrusting (mobiele pomp in de Maas om de stoomgeneratoren te vullen en tanker met boorwater om de herladingswateropslagtanks (RWST) te vullen) in te zetten.
De exploitant geeft ook aan dat de waterautonomie op korte termijn zal worden vergroot met een nieuwe diepe grondwaterput die onafhankelijk is van de bestaande putsystemen. Deze nieuwe waterbron werd recent ontdekt en zal gebruikt worden om gedemineraliseerd water te produceren.

Voor Doel kunnen soortgelijke cliff-edge-effecten worden voorkomen door een beroep te doen op systemen die op de site aanwezig zijn.

Hierna worden de belangrijkste verbintenissen van de exploitant beschreven:

- gebruik van niet-conventionele middelen:
  - om de stoomgeneratoren en splijtstofdokken bij te vullen,
  - om de suppletie voor de primaire kring in open configuratie (voor Tihange 2 en 3) te garanderen,
  - om overdruk in het reactorgebouw te voorkomen;
- opstellen van een specifieke procedure "Verlies van primaire en alternatieve UHS";
- op korte termijn zal de robuustheid van de installatie verhoogd worden door een nieuwe diepe grondwaterput. Deze nieuwe put, die onafhankelijk is van de bestaande grondwaterputten, zou een aanvullende waterbron kunnen vormen voor de drie eenheden in Tihange.

5.7.6. Scenario "Verlies van de primaire UHS met SBO"

In de ontwerpbasis van de Belgische eenheden werd met dit scenario rekening gehouden. Er is geen cliff-edge-effect. Dit wordt beheerd door de 2de niveau noodsystemen.

5.7.7. Scenario "Verlies van de primaire UHS met volledige SBO"

Dit scenario is voor alle Belgische eenheden een situatie die geen deel uitmaakt van de ontwerpbasis. Om cliff-edge-effecten te voorkomen heeft de exploitant een aantal bijkomende maatregelen voorgesteld.

5.7.8. Scenario "Verlies van de primaire UHS, LOOP en aardbeving DBE"

In de ontwerpbasis van de Belgische eenheden werd met dit scenario rekening gehouden. Er is geen cliff-edge-effect. Dit scenario wordt beheerd door de 2de niveau noodsystemen voor de eenheden van Tihange en Doel 1/2, en door de 1ste niveau veiligheidssystemen en 2de niveau noodsystemen voor Doel 3 en 4.
Voor Doel 1/2 vertrouwt de exploitant op de hulpvoedingswaterpompen en de bijbehorende tanks. In het ontwerp is deze uitrusting niet seismisch gekwalificeerd. Kort na het ongeval in Fukushima beslisten de maatschappijen deze uitrusting te upgraden en verbeteringen door te voeren om hun beschikbaarheid na een aardbeving te verzekeren.

5.7.9. Splijtstofdokken

Voor de evaluatie van de robuustheid van de splijtstofdokken is het meest conservatieve scenario een volledige SBO aan het einde van de kernontlading (kern volledig ontladen en splijtstofdokken gevuld).

De splijtstofdokken kunnen gravitair opnieuw gevuld worden vanuit tanks die permanent verbonden zijn met de bassins (herladingswateropslagtanks, boorwater en gedemineraliseerd water) van de eenheid. De diverse waterbronnen op de site zijn voldoende om op lange termijn de vereiste bijvulling te verzekeren. De exploitant bevestigt dat niet-conventionele middelen (tanker of mobiele pompen met hun eigen stroomvoorziening die water uit de primaire of de alternatieve UHS halen, brandblussysteem, …) in minder dan één uur kunnen worden ingezet. Voor de site van Doel worden hardwarewijzigingen (aansluitpunten en vaste leidingen) overwogen om de robuustheid van de installaties te verhogen.

De in de eindrapporten vermelde autonomiewaarden zijn niet zeer gedetailleerd. Tijdens specifieke inspecties verstrekte de exploitant aanvullende informatie die tot de conclusie leidt dat deze autonomiewaarden verenigbaar zijn met de interne back-upmiddelen of de externe middelen (niet-conventionele middelen) die zullen worden aangebracht om de splijtstofdokken opnieuw te vullen.

5.8. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit

De methode die de exploitant gebruikt om het beheer van het verlies van stroomvoorziening en van het verlies van de ultieme koudebron opnieuw te evalueren, is in overeenstemming met de methodologie die door de exploitant werd ingediend en die werd goedgekeurd door de veiligheidsautoriteit.

Door de aanwezigheid van een tweede veiligheidsniveau (noodsystemen) dat volledig onafhankelijk is van het eerste niveau (veiligheidssystemen) zijn de installaties in de Belgische eenheden zeer robuust om de diverse scenario's op te vangen. Bovendien zijn de veiligheids- en noodsystemen gediversifieerd en voldoen ze aan veiligheidseisen zoals redundantie, onafhankelijkheid, kwalificatie, tests, enz.

Algemeen moet de exploitant de beschikbaarheid en de correcte werking waarborgen van de diverse voorzieningen waarvan sprake is in het weerstandstestprogramma, inclusief de scenario's die geen deel uitmaken van de ontwerpbasis (beyond design):

- via de technische specificaties die de eisen op het vlak van beschikbaarheid, tests en toelaatbare uitvaltijden voor alle veiligheidsgerelateerde uitrusting vermelden. De exploitant zou de technische specificaties van de centrale opnieuw moeten bekijken om een betere beschikbaarheid van de 2de niveau nooduitrusting te garanderen. Meer in het bijzonder zouden de maximaal toelaatbare uitvaltijden en de tijdslimieten vóór de uitrusting opnieuw in gebruik wordt genomen, opnieuw geëvalueerd en verantwoord moeten worden, rekening houdend met de risico's (zie ook eis 7 in paragraaf 6.7);
- door het in overweging nemen van ongunstige weersomstandigheden. Met bepaalde weersomstandigheden (extreme koude of hittegolven) werd geen rekening gehouden in de specificaties voor de weerstandstests. Hoewel deze gebeurtenissen misschien niet als initiërende gebeurtenissen worden beschouwd, moet de exploitant controleren of de diverse middelen die voor het beheer van ongevalsscenario's worden ingezet, in de praktijk daadwerkelijk bruikbaar zijn, zowel in de winter (periodes van vorst en sneeuw zijn niet uitzonderlijk in België) als in de zomer (dagen of wekenlange periodes van in verhouding hoge temperaturen).

Op basis van de evaluatie van de rapporten van de exploitant en de ondersteunende documenten, de latere technische vergaderingen en de inspecties ter plaatse oordeelt de veiligheidsautoriteit dat het resulterende actieplan adequaat is.

De veiligheidsautoriteit voegde echter bijkomende eisen en aanbevelingen toe om de robuustheid van alle Belgische eenheden verder te verhogen.

1. De bedrijfsparaatheid van de niet-conventionele middelen zou moeten aangetoond worden op basis van technische gegevens (ontwerp, werking, uitlijning en aansluitingen, periodieke tests, preventief onderhoud enz.).

2. De technische kenmerken van de niet-conventionele middelen (NCM) zou moeten rekening houden met de ongunstige (weers)omstandigheden waaraan zij tijdens de volledige periode van gebruik kunnen worden blootgesteld.

3. In samenwerking met ELIA, beheerder van het hoogspanningsnet, zou de exploitant een haalbaarheidsstudie moeten uitvoeren om tot een betere geografische spreiding van de hoogspanningsleidingen (380 en 150 kV) te komen en zo de betrouwbaarheid van de externe stroomvoorziening van de kerncentrales te verhogen. Bovendien zou de exploitant er in overleg met ELIA voor moeten zorgen dat, in geval van een LOOP, de kerncentrales de hoogste prioriteit krijgen en dat de stroomvoorziening van deze centrales eerst wordt hersteld. De veiligheidsautoriteit zal de nodige stappen ondernemen (in samenwerking met andere bevoegde instanties) om erop toe te zien dat deze eis wordt nageleefd.

4. Met betrekking tot het scenario "Volledige SBO" zou de mogelijke overvulling of het leegkoken van de stoomgeneratoren door verlies van ultieme perslucht moeten worden onderzocht.

5. Met betrekking tot het scenario "Volledige SBO" zou de bedrijfsparaatheid van de AFW-turbopomp na verlies van ventilatie in de turbopompzaal moeten worden onderzocht.

6. Bij (volledige) station black-out zou de exploitant moeten nagaan of alle containmentpenetraties tijdig kunnen worden afgesloten en of de betrokken isolatiesystemen van het containment operationeel blijven, meer in het bijzonder bij stilstand. Er zou moeten worden nagegaan of de sassen voor personeel en materieel kunnen worden afgesloten. Deze thema's moeten worden verwerkt in de procedure "Volledige station black-out".

7. De exploitant moet aantonen dat de watercapaciteit (hoeveelheid koelwater voor de verbruikers en debiet) van het tweede veiligheidsniveau voldoende groot is wanneer alle eenheden van de site getroffen worden door het verlies van primaire UHS. Indien nodig zou een strategie moeten worden ontwikkeld om het waterverbruik te optimaliseren.

8. Voor Tihange zou de exploitant de noodverlichting moeten verbeteren in de diverse zalen en op plaatsen waar de operators moeten werken tijdens de diverse scenario's.

9. Met betrekking tot het scenario "Verlies van primaire UHS" moet de exploitant in 2012 oplijnings- en werkingstests van de diepe noodwatervangstations in de rivierbedding van de Maas uitvoeren (voor Tihange 2 en 3).

10. Met betrekking tot het scenario "Verlies van primaire UHS" zou de exploitant moeten aantonen dat de noodwatervangstations van Tihange 2 en 3 beschikbaar zijn (toegankelijkheid, bedrijfsparaatheid en uitlijning) overeenkomstig de eisen van US NRC RG 1.27.

11. De exploitant zou twee configuraties moeten evalueren voor de splijtstofdokken:
    a. configuratie waarbij een splijtstofelement in het reactorbassin wordt behandeld tijdens een "Volledige SBO". Het splijtstofelement zou manueel in een veilige positie moeten worden gebracht. De exploitant zou de maatregelen moeten onderzoeken (hardware-installaties, procedures, verlichting enz.) die nodig zijn voor deze configuratie;
    b. configuratie met verlies van waterinventaris in de splijtstofdokken. De internationale ervaring heeft al uitgewezen dat er bepaalde problemen zijn met het ontwerp van de hevelbrekers in de splijtstofdokken. In geval van pijpbreuk kan een te kleine capaciteit van de hevelbrekers tot gevolg hebben dat gebruikte splijtstofelementen snel worden blootgelegd. De exploitant zou dit veiligheidsprobleem moeten onderzoeken.

6. Beheer van ernstige ongevallen

Om een op zichzelf staand nationaal rapport te hebben voor de voorziene peer review wordt eerst de door de exploitant in zijn weerstandstestsverslag verstrekte relevante informatie in herinnering gebracht.
Aan het einde van dit hoofdstuk worden in een laatste paragraaf de conclusies en de evaluatie van de Belgische veiligheidsautoriteit vermeld (FANC en Bel V).

6.1. Organisatie en maatregelen van de exploitant om ongevallen te beheren

6.1.1. Organisatie van de exploitant om het ongeval te beheren

6.1.1.1. Personeels- en ploegenbeheer bij normaal bedrijf

De bedrijfsploegen zijn permanent op de site aanwezig en zijn altijd samengesteld zoals beschreven in de onderstaande tabel en volgens de minimumvereisten van het veiligheidsanalyserapport.

Tabel 14: Minimumsamenstelling van de bedrijfsploegen volgens de toestand van de eenheden

Eenheid	Status van de eenheid	Aantal personeelsleden in de bedrijfsploegen
Tihange 1	In bedrijf, warme stilstand of intermediaire stilstand	7
	Koude stilstand	6
Tihange 2	In bedrijf, warme stilstand of intermediaire stilstand	8
	Koude stilstand	6
Tihange 3	In bedrijf, warme stilstand of intermediaire stilstand	7
	Koude stilstand	6
Doel 1/2	Doel 1 en Doel 2 in bedrijf	9
	Doel 1 of Doel 2 in koude stilstand	9
	Doel 1 en Doel 2 in koude stilstand	7
Doel 3 en Doel 4	Doel 3 en Doel 4 in toestand 1 (in bedrijf) tot 4 (intermediaire stilstand)	13
	Doel 3 of Doel 4 niet in toestand 1 (in bedrijf) tot 4 (intermediaire stilstand)	9
	Doel 3 en Doel 4 niet in toestand 1 (in bedrijf) tot 4 (intermediaire stilstand)	7

De bedrijfsploegen worden bijgestaan door de stralingsbeschermingsagenten, de brandweer en de bewaking van de site.

De taak van de bedrijfsploegen bestaat eruit - dag en nacht - de eerste geschikte acties te ondernemen mocht zich een gebeurtenis voordoen. Bij normale bedrijfsomstandigheden of bij problemen kunnen ze altijd een beroep doen op een team van wachtroltechnici en -personeel. Bij een noodsituatie in een eenheid treedt het interne noodplan in werking. Het zorgt ervoor dat de nodige interne en externe middelen worden ingezet voor het beheer van de gebeurtenis.

6.1.1.2. Maatregelen om een optimale personeelsinterventie mogelijk te maken

Bij een nucleair ongeval moet de bedrijfsploeg, ondersteund door de ter plaatse aanwezige stralingsbeschermingsagenten, de brandweer en het bewakingspersoneel van de site, tegen het ongeval optreden. De bedrijfsploeg bevindt zich in de controlezaal. Vanuit de controlezaal roept ze het wachtrolpersoneel op.

De taken van het wachtrolpersoneel zijn bepaald in de noodplanorganisatie.
Elk wachtrolteam bestaat uit minstens vijf leden die 12 uur van wacht blijven.
Het wachtrolpersoneel blijft een vooraf geplande periode aanwezig. Daarenboven blijkt uit beschikbaarheidstests dat 80 % van het wachtrolpersoneel (op dat ogenblik niet van wacht) binnen 2 uur aanwezig kan zijn.
Het wachtrolpersoneel bemant dan de verschillende noodcentra.

Kerncentrale Tihange

In Tihange worden noodsituaties beheerd vanop drie afzonderlijke plaatsen:

- de controlezaal van de eenheid waar de operatoren van de bedrijfsploeg in normale en ongevalsomstandigheden werken;
- de "bedrijfskamer van de eenheid", in Tihange "Centre Opérationnel de Tranche - COT" genoemd (gelegen naast de controlezaal en met dezelfde weerstandskenmerken als de controlezaal), waar het eerste deel van het noodmanagementteam verzamelt en van waaruit het technische beheer van de gebeurtenis plaats vindt;
- de "bedrijfskamer van de site", in Tihange "Centre Opérationnel de Site - COS" genoemd (fysiek verwijderd van de controlezaal), waar het tweede deel van het noodmanagementteam verzamelt en van waaruit de communicatie en externe relaties met de buitenwereld worden geleid.

Aanvankelijk wordt de noodsituatie beheerd vanuit de controlezaal van de betrokken eenheid. Zodra het interne noodplan in werking treedt, wordt een noodmanagementteam samengesteld. Het omvat een plaatselijk team, dat verzamelt in de bedrijfskamer van de eenheid (COT) gelegen naast de controlezaal van de betrokken eenheid. De overige leden van het noodmanagementteam verzamelen in de bedrijfskamer van de site (COS) gelegen in het administratieve gebouw. Het team dat verzamelt in de COT behandelt de technische aspecten, terwijl het team dat verzamelt in de COS zich richt op organisatie en communicatie (in het bijzonder met overheidsinstanties) en op strategische beslissingen in het kader van de noodsituatie.

In Awirs, op 12 km van de kerncentrale Tihange, bevindt zich ook een externe onthaal- en terugvalbasis, "CARA" genoemd. Bij noodsituaties vervult de CARA de volgende functies:

- ze kan dienst doen als off-site noodterugvalcentrum in situaties waarbij de normale bedrijfskamer van de site (COS) niet toegankelijk is; het wachtrolnoodteam kan vanuit het CARA-centrum de noodsituatie op een veilige en continue manier beheren;
- ze kan worden gebruikt als verzamel- en briefingruimte voor de bedrijfsploegen en de interventieteams vóór ze naar de centrale gaan; informatie over technische aspecten en te nemen beschermingsmaatregelen worden verstrekt aan het personeel van Electrabel en contractanten;
- bij ernstige besmetting van de kerncentrale Tihange, waardoor ontsmetting van het personeel op de site onmogelijk is, kan ze worden gebruikt als ontsmettingsgebouw; na het werk en vóór ze naar huis gaan, moeten de leden van de bedrijfsploegen en interventieteams naar het CARA-centrum komen voor debriefing;

- er is een infrastructuur voor het onthaal van de families van gewonde personeelsleden; in het CARA-centrum wordt informatie gegeven die alleen voor deze families bestemd is.

Kerncentrale Doel

In Doel worden noodsituaties beheerd vanop vier afzonderlijke plaatsen:

- de controlezaal van de eenheid waar de operatoren van de bedrijfsploeg in normale en ongevalsomstandigheden werken;
- de bedrijfskamer ("BK") van de eenheid, die zich op dezelfde plaats bevindt als de controlezaal, is het zenuwcentrum van het beheer van ernstige gevallen ("Severe Accident Management - SAM"); vanuit dit centrum worden acties naar de installaties toe genomen.
- in de On Site Technical Support Center ("OTSC") worden interventies en werkzaamheden aan de installaties en acties op lange termijn voorbereid. De OTSC van Doel 1/2 maakt deel uit van de machinezaal van Doel 1/2; hier worden de belangrijkste bedrijfsparameters gecontroleerd. De OTSC van Doel 3 en Doel 4 maakt deel uit van het gebouw elektrische voorzieningen ("GEH") van Doel 4; hier worden de belangrijkste parameters van de toestand van de kern gecontroleerd. De OTSC van Doel 3 en Doel 4 kan dienst doen als terugplooicentrum voor de OTSC van Doel 1/2.
- In de noodplankamer van de site ("NPK"), worden de gegevens samengevoegd, de communicatie met de overheid gecoördineerd en de mogelijke verspreiding van radioactiviteit in de omgeving berekend.

Voor beide sites wordt de paraatheid van de volledige noodplaninfrastructuur opgevolgd met onderhoudsplannen.

Tot de hulpmiddelen die betrokken zijn bij het interne noodplan behoort het eigen personeel van de kerncentrale.
Het voltallige personeel van de kerncentrale wordt geleidelijk aan betrokken:

- bedrijfsploegen,
- wachtrolmanagers,
- wachtroltechnici (monteurs, elektriciens, stralingsbeschermingspersoneel, ICT),
- eerstehulpploegen,
- de veiligheidsdienst en de medische hulpdienst,
- het voltallige personeel van de kerncentrale op verzoek, afhankelijk van de individuele vaardigheden.

Er kunnen ook bijkomende middelen worden ingezet, met inbegrip van hulpeenheden van de andere kerncentrales (Doel of Tihange) en leden van de Corporate noodplanorganisatie van Electrabel.
Ook werknemers van de contractant die gewoonlijk op de site van de kerncentrale werkzaam zijn en andere personen die geen band hebben met Electrabel kunnen worden opgeroepen. In dit opzicht zijn met sommige bedrijven of instanties bijstands- en samenwerkingsovereenkomsten afgesloten.

Op de site beschikbare technische middelen zijn:

- brandweergarages uitgerust met materiaal en producten om zeer uiteenlopende gebeurtenissen te bestrijden (brand, explosie, overstroming, lozing van gevaarlijke producten);
- logistieke uitrusting; zandzakken, compressoren, ...;
- volledig uitgeruste meetvoertuigen om radiologische metingen uit te voeren op en buiten de site;
- voorraadpakketten persoonlijke beschermingsmiddelen;
- medische posten met uitgeruste verpleeg- en artsenpraktijken en triagezones;
- helikopterlandingsplaatsen;
- bewakers om te verhinderen dat onbevoegden de site betreden.

6.1.1.3. Gebruik van externe technische ondersteuning voor ongevallenbeheer

Wanneer een intern noodplan in werking treedt, informeert het wachtrolmanagement de overheidsinstanties officieel conform het noodinformatieproces. Deze informatie wordt automatisch doorgestuurd naar het callcenter van:

- het coördinatie- en crisiscentrum van de regering ("CGCCR"),
- Bel V,
- het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC).

Afhankelijk van de aard van de gebeurtenis, kunnen ook andere instanties op de hoogte worden gebracht zoals de plaatselijke burgemeester, de provinciegouverneur, de plaatselijke brandweer of de Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg.

Corporate noodorganisatie van Electrabel

Om ondersteuning te bieden aan een eenheid of een kerncentrale in nood, heeft Electrabel het Crisis Management center Productie België-Luxemburg ("CMCPB") opgericht dat in Brussel is gevestigd en wordt voorgezeten door een lid van het management van Electrabel.

De taak van dit crisiscentrum bestaat uit:

- de ondersteuning van de kerncentrale met strategische beslissingen;
- het garanderen van de beschikbaarheid van extra financiële, materiële en menselijke middelen;
- het verzekeren van externe communicatie en het garanderen van consistentie met de communicatieacties ondernomen door de kerncentrale;
- het ter beschikking stellen van deskundigen in specifieke gebieden (verzekeringen, wetgeving, humanresources management, onderhoud, veiligheid, enz.) aan de kerncentrale.

Dit centrum wordt tijdens het informatieproces geïnformeerd door de nooddirecteur van de kerncentrales. Afhankelijk van de aard van de gebeurtenis, zal het CMCPB al het mogelijke doen om de kerncentrale de nodige ondersteuning te bieden. De kerncentrale kan ook specifieke vragen of verzoeken (bv. behoefte aan uitrusting of geschoold personeel) indienen bij het CMCBP om het management op de site te ontlasten.

Overeenkomsten met ziekenhuizen

De kerncentrale Tihange heeft met 5 ziekenhuizen overeenkomsten afgesloten:

- het regionale ziekenhuis in Hoei;
- het universitaire ziekenhuis in Luik;
- het kankerinstituut in Brussel;
- het brandwondencentrum in Loverval;
- het Frans militair ziekenhuis in Parijs (Percy).

Deze overeenkomsten dekken de medische zorgen van gewonden (al dan niet besmet) bij een incident in de kerncentrale Tihange.

De kerncentrale Doel heeft met 2 ziekenhuizen overeenkomsten afgesloten:

- het Middelheim-ziekenhuis in Antwerpen, waar permanent 8 bedden beschikbaar zijn en indien nodig kan het ziekenhuis volledig worden ontruimd zodat zijn volledige capaciteit kan worden benut;
- het Frans militair ziekenhuis in Parijs (Percy).

Overeenkomst voor technische bijstand met Tractebel Engineering

Tractebel Engineering verleent de exploitant technische ondersteuning:

- bij het stellen van een diagnose;

- om het verloop van de gebeurtenis te voorspellen;
- om aanbevelingen te geven en acties voor te stellen;
- om zijn vragen te beantwoorden.

Binnen 4 uur na de oproep van de exploitant is een minimumcel beschikbaar.

Ondersteuning door contractanten en andere bedrijven.

Dagelijks werken vele externe bedrijven op de sites van de kerncentrales. Hun personeel beschikt over specifieke vaardigheden en kennis van de installaties die nuttig kunnen zijn bij een incident of ongeval. Daarom doet het noodplanteam in de eerste plaats een beroep op deze deskundigen die weten hoe ze moeten ingrijpen op de site vooraleer een beroep te doen op bedrijven zonder kennis van de installaties.
Bovendien heeft Electrabel contracten afgesloten met externe bedrijven voor interventies en het leveren van uitrusting, met inbegrip van voorwaarden inzake reactiesnelheid voor dringende verzoeken van de kerncentrale. Deze diensten omvatten onder andere:

- levering van en interventie aan bekabeling binnen 24 uur;
- levering brandstof voor diesels binnen 25 uur;
- ontsmetting van structuren: 18 personen binnen 2 uur en 45 binnen 48 uur;
- stellingbouw: 12 personen (per shift van 2 uur) binnen 24 uur;
- mechanische taken en herstellingen: ongeveer 100 monteurs en 20 frezers beschikbaar binnen 2 uur;
- levering kranen binnen 4 uur;
- levering boorzuur binnen 15 werkdagen;
- herstellingen instrumentatie binnen 24 uur;
- levering chemische producten binnen 12 tot 48 uur (afhankelijk van het product);
- herstellingen elektrische motoren binnen 5 uur;
- herstellingen ventilatie binnen 4 uur (1 technicus);
- levering industrieel gas binnen 6 tot 12 uur (afhankelijk van het gas);
- huur elektrogeen- en koelgroepen: standaarduitrusting binnen 24 uur (korter indien beschikbaar in de Benelux), ventilatie-uitrusting reactorgebouw binnen 3 dagen;
- huur van snel op te stellen opruimingsmaterieel geplaatst dicht bij de kerncentrale om in noodsituaties de toegang tot de noodzakelijke middelen te garanderen.

Electrabel en ELIA (netbeheerder van de hoogspanningsnetten), werken effectief samen bij problemen die het externe stroomnet treffen.

Ondersteuning door overheidsinstellingen

Het Koninklijk Besluit van 17 oktober 2003 beschrijft dat de minister van Binnenlandse Zaken, met de medewerking van de exploitant, alle burgerlijke en militaire bronnen kan opeisen en inzetten en acties ondernemen om een noodsituatie in de inrichting of de gevolgen ervan onder controle te krijgen of in te perken. In dit opzicht kunnen de hierna vermelde instellingen ondersteuning bieden voor de kerncentrales van Tihange en/of Doel:

- het Wetenschappelijk Instituut voor Volksgezondheid ("WIV-ISP");
- het Koninklijk Meteorologisch Instituut ("KMI");
- het Studiecentrum voor Kernenergie ("SCK-CEN");
- het Nationaal Instituut voor Radio-elementen ("IRE");
- de civiele bescherming;
- de politie;
- het leger (de kazerne van Amay ligt op 8 km van de kerncentrale Tihange);
- de dienst hydrologie van de Waalse overheidsdiensten (voor de kerncentrale Tihange);
- de Koninklijke Sterrenwacht van België;
- de universiteit van Luik (ULg) en de universiteit van Gent;
- de regionale brandweer van Hoei (Tihange) en de brandweer van Beveren (Doel); Electrabel heeft met deze brandweerkorpsen specifieke overeenkomsten afgesloten, die de modaliteiten

inzake opleiding, communicatie, bevelvoering bij interventies en dosimetrieaspecten vastleggen.

Andere middelen

Transnubel kan op korte termijn een bus en een chauffeur charteren en kan transportmiddelen verstrekken voor materiaal en personeelsleden.

Indien enkele van de hierboven vermelde diensten onbeschikbaar zijn, beschikt de kerncentrale binnen haar infrastructuur over enkele middelen zoals voertuigen en aanhangwagens met stralingsbeschermingsmeetapparatuur en brandbestrijdende uitrusting.

Een extern zorg-/ontsmettingscentrum in Wachtebeke (op 45 km van de kerncentrale Doel verwijderd) biedt de infrastructuur voor de detectie en ontsmetting van personen en voertuigen, voedselvoorraad en slaapplaatsen.

6.1.1.4. Procedures, opleiding en oefeningen

Procedures intern noodplan

De procedures voor het interne noodplan beschrijven voor elke kerncentrale de structuur en de organisatie van het interne noodplan.
Voor de kerncentrale Tihange, vormen deze procedure en zijn 58 begeleidende procedures het volledige interne noodplan. De kerncentrale Doel beschikt over 28 noodplanprocedures die rechtstreeks verband houden met het noodplan, aangevuld met verschillende andere procedures en documenten (praktische richtlijnen).
Al deze procedures die verband houden met nucleaire ongevallen worden regelmatig geactualiseerd.

Opleidingsprogramma's en oefeningen intern noodplan

Alle personen die betrokken zijn bij het interne noodplan krijgen een initiële opleiding en, afhankelijk van zijn/haar functie, een regelmatig terugkerende opfriscursus. De opleidingsprocedures bepalen voor elke functie of rol welk opleidingsprogramma moet worden aangeboden inzake noodsituaties.
Deze opleiding omvat ook regelmatig terugkerende oefeningen.

Bedrijfsprocedures van de kerncentrale

De bedrijfsploegen kunnen een beroep doen op specifieke procedures voor incidenten- en ongevallenbeheer. Wanneer zich in de installaties een anomalie voordoet, past het bedrijfsteam eerst een reeks procedures toe voor incidentenbeheer. Als deze niet volstaan, worden procedures voor ongevallenbeheer uitgevoerd. Indien ten slotte aan een aantal criteria is voldaan, worden deze procedures voor ongevallenbeheer vervangen door richtlijnen voor het beheer van ernstige ongevallen ("SAMG").

Opleidingsprogramma's en –oefeningen van de kerncentrale

Procedures beschrijven de jobopleidingsprogramma's voor elke afdeling (bedrijfsploegen, onderhoud). Alle personeelsleden die betrokken zijn bij het bedrijf van de installaties (kaderleden, bedrijfsploegen) krijgen een initiële opleiding en, afhankelijk van zijn/haar functie, een regelmatig terugkerende opfriscursus. Voor elk job vinden jaarlijks oefeningen plaats.
In het bijzonder oefenen, bevoegde controlezaaloperatoren, ploegsupervisors en kaderleden jaarlijks op de simulator in het opleidingscentrum, en dit gedurende een periode van twee weken voor controlezaaloperatoren en ploegsupervisors en een periode van een week voor bevoegde kaderleden. Dit simuleert virtuele incidenten of ongevallen om ze te helpen met de uitvoering van de relevante procedures.

Voor de kerncentrale Tihange is voor de bedrijfsploegen, de bevoegde kaderleden en wachtrolkaderleden een SAMG-opleiding van 2 dagen voorzien. Om de drie jaar moet een opfriscursus worden gevolgd.
Voor de kerncentrale Doel is voor de bedrijfsploegen, de bevoegde kaderleden en de wachtrolkaderleden een opleiding voorzien van één dag over de BK-procedures. Om de vijf jaar moet een opfriscursus worden gevolgd.

6.1.1.5. Plannen voor de versterking van de siteorganisatie voor ongevallenbeheer.

Tot de hulpmiddelen die betrokken zijn bij het interne noodplan behoort het eigen personeel van de kerncentrale.
Momenteel wordt een oplossing uitgewerkt om voldoende toezichthoudend kaderpersoneel te kunnen garanderen in geval van een gebeurtenis in verschillende eenheden, wat in essentie de voortdurende inzet van vele ingenieurs op de site vereist.

6.1.2. De mogelijkheid om bestaande uitrusting te gebruiken

Bij een ernstig ongeval zijn de volgende middelen essentieel:
- niet-boorhoudend water voor injectie in de stoomgeneratoren;
- boorwater voor injectie in de primaire kring of het reactorgebouw;
- elektriciteit voor de vitale pompen.

De bestaande uitrusting op de site kan worden gebruikt om, waar vereist, potentiële defecten te herstellen via specifieke aansluitingen. De SAMG-richtlijnen beschrijven hoe de bestaande uitrusting moet worden gebruikt.

Bij onbeschikbaarheid of defect van deze uitrusting kunnen niet-conventionele middelen worden gebruikt. Met deze toestellen werd geen rekening gehouden bij het ontwerp van de eenheden maar ze zijn beschikbaar op de site.

6.1.2.1. Voorzieningen om mobiele uitrusting te gebruiken (beschikbaarheid van dergelijke toestellen, tijd om ze op de site te brengen en in bedrijf te stellen)

<u>Bestaande mobiele uitrusting</u>

Indien op de site van Tihange gebeurtenissen optreden die niet in het ontwerp zijn voorzien (beyond-design events), kan niet-conventionele of mobiele uitrusting (CMU-uitrusting) worden gebruikt die onafhankelijk is van de ontwerpbasisuitrusting en installaties, om de volgende functies te verrichten:
- watertoevoer voor koeldokken in gebouw D in de drie eenheden en in gebouw DE in Tihange 3;
- de toevoer van lagedruk voedingswater voor stoomgeneratoren;
- noodverlichting;
- de plaatsing van diesels om de nodige uitrusting aan te drijven.

Op de site van Doel zijn ook mobiele elektrogeengroepen beschikbaar om de gelijkrichters afwisselend te voeden met behulp van aangepaste aansluitklemmen en kabels. Ze vormen een reservenet van 380 V. Op deze manier kan een langere periode van "station black-out" worden overbrugd terwijl de metingen, signalisatie en controle behouden blijven. De veiligheidscomponenten (compressoren, afsluiters, ...) zullen op dezelfde manier worden gevoed.

Bij Doel 1/2 zijn er ook elektrogeengroepen voor de alternatieve voeding van containmentsproeipompen.

De meeste van deze mobiele toestellen zijn al beschikbaar in de installaties en moeten alleen met flexibele slangen of kabels - die worden bewaard nabij de plaats waar ze worden gebruikt - aan gas/energie/water worden aangesloten.

Toekomstige (niet-conventionele) mobiele hulpmiddelen

In de nasleep van Fukushima werd een systemische analyse uitgevoerd naar de behoefte aan extra uitrusting. Het uitgangspunt van de analyse was het totale verlies van de wisselstroom en hield rekening met alle mogelijke initiële toestanden van de eenheden.
Dientengevolge zijn de toestellen/uitrusting die kunnen worden gebruikt om de gevolgen van dergelijke extreme situatie te verminderen in kaart gebracht.
Het resultaat van deze analyse is een tijdlijn per eenheid, die in chronologische volgorde weergeeft wanneer een essentiële functie zonder extra middelen niet langer kan worden gegarandeerd. Rekening houdend met deze tijdlijn, bepaalde de exploitant maatregelen om de verloren functies met alternatieve functies te compenseren. Ze bepaalde ook wanneer deze maatregelen operationeel moeten zijn en welke eigenschappen nodig zijn om de functies te herstellen.

Voor elke uitrusting bepalen de tijd tot het optreden van de gebeurtenis en de start van de uitrusting en de vereiste capaciteit of het permanent en startklaar moet worden geïnstalleerd, of bewaring op de site volstaat of zelfs of externe hulp kan worden overwogen om deze functie te vervullen. Deze laatste veronderstelling gaat ervan uit dat externe hulp pas na 72 uur beschikbaar is (tijd die volstaat om toegang tot de site te regelen en, indien nodig, zware apparatuur naar de site te brengen). Bovendien moeten deze niet-conventionele toestellen kunnen werken, ongeacht de toestand van de andere eenheden van de site. De elektrische voeding of de water- en brandstofvoorraden die nodig zijn voor de autonomie worden ook in de analyse behandeld.

Deze niet-conventionele middelen zullen worden vergeleken met de middelen die bepaald zijn in de EDMG (extensive damage mitigation guidelines) ontwikkeld door het NEI zodat ook rekening wordt gehouden met situaties die niet zijn opgenomen in het scenario van een totaal verlies van wisselspanning.
Geïdentificeerde toestellen die nog niet op de site beschikbaar zijn zullen worden voorzien. Voor andere toestellen is een rechtvaardigings-/haalbaarheidsstudie nodig. Ze zullen worden geïmplementeerd in omstandigheden die een optimale weerstand tegen extreme, externe risico's garanderen (al dan niet natuurlijk). Voor mobiele toestellen zal een geschikte opslagplaats worden gezocht. Vaste reeds geïnstalleerde toestellen zullen tegen risico's worden beschermd. Als ze onvoldoende zijn beschermd in de plaats waar ze zijn opgeslagen of geïnstalleerd, moeten de toestellen inherent tegen de beschouwde risico's bestand worden gemaakt.

Zodra volledig geïmplementeerd zullen deze toestellen worden geïntegreerd in procedures voor ongevallenbeheer en in SAMG-richtlijnen zodat ze correct kunnen worden gebruikt door de noodplanteams.

De huidige noodverlichting van de kerncentrale Doel zal worden vervangen door noodverlichting met een lange autonomie (leds). Er zullen ook extra mobiele verlichtingstorens worden aangekocht.

6.1.2.2. Voorzieningen voor en beheer van voorraden (brandstof voor diesels, water, ...)

Om bij ongevallen de veiligheidsuitrusting in bedrijf te houden zijn minimale voorraden diesel en boorzuur vereist. Deze worden vermeld in de technische specificaties (uitgezonderd ernstige ongevallen). Wat de noodmanagementuitrusting betreft, worden minimale voorraden en beschikbaarheidsvereisten gespecificeerd in en gecontroleerd via relevante procedures.

Op de site van de kerncentrale Doel wordt een studie uitgevoerd om de nodige aansluitpunten te voorzien op de brandstofvoorraadtanks van de verschillende reactoreenheden, zodat de brandstof kan worden overgebracht tussen de verschillende tanks. Er is een tankwagen ter plaatse om de brandstof over de site te transporteren.

6.1.2.3. Beheer van radioactieve lozingen en voorzieningen om ze te beperken

Bij een nucleair ongeval moet alle aandacht gericht zijn op:
- de lekdichtheid van het reactorgebouw;
- de drukvermindering in het reactorgebouw indien het reactorgebouw niet meer lekdicht is;
- de afzetting van jodium en aerosols door voldoende sproeien;
- de waterinventaris in het reactorgebouw;
- de waterinventaris in de splijtstofdokken.

Potentiële radioactieve lozingen in de omgeving worden beperkt door:
- de hoogste toegestane specifieke activiteit in de primaire kring bij normaal bedrijf;
- de voor de primaire kring en de buizen van de stoomgenerator toegestane lekgehalten;
- de containmentlekgehalten

Ontwerp van het reactorcontainment

Wanneer in het reactorgebouw radioactiviteit vrijkomt, zorgen containment en bijhorende systemen ervoor dat de radioactieve gassen in het reactorgebouw blijven, zodat geen radioactief materiaal in de omgeving wordt geloosd. Zolang de radioactiviteit in het containment blijft, speelt radioactief verval een belangrijke rol. Afhankelijk van de betrokken isotopen, kan de bronterm al na een halve dag retentie tot 5 tot 25 % herleid zijn.

Alle reactoreenheden van Tihange en Doel hebben een dubbele containmentstructuur.
Bij de drie eenheden van Tihange en bij Doel 3 en 4 bestaat het binnenste primair containment uit gewapend spanbeton dat bestand is tegen druk, waarvan het binnenoppervlak is bekleed met een metalen liner om de lekdichtheid te garanderen. Het binnenste containment van Doel 1/2 is vervaardigd uit staal om lekdichtheid te garanderen.
Alle eenheden hebben een losstaand secundair containment uit gewapend beton om potentiële lekken van het binnenste containment op te vangen en te filteren.

De druk in het containment wordt gecontroleerd met verschillende veiligheidsinstrumenten (met back-up) die de absolute druk meten. Enkele van deze instrumenten worden gebruikt om de druk bij normaal bedrijf te meten, terwijl andere de drukevolutie tot 10 bar kunnen controleren.

Een containmentsproeikring wordt gebruikt om de drukpiek in het containment ten gevolge van een ongeval door verlies van primair koelmiddel ("LOCA") of een lek in de noodkoeling te beperken, en achtereenvolgens het lekgehalte van het containment in de tussenruimte te beperken.
Ook de interne ventilatie zorgt ervoor dat de druk in het reactorgebouw vermindert.

Bij elke geplande stilstand voor herlading wordt het containmentlekgehalte in de tussenruimte gemeten. Het lekgehalte voor alle penetraties door het containment wordt op dezelfde manier gecontroleerd.
In de verschillende gebouwen, ook het reactorgebouw, zijn systemen geïnstalleerd om de radioactiviteit te meten en toelaten om lekproblemen snel vast te stellen. Meetsystemen controleren ook de radioactieve lozingen aan de ventilatieschouw van de gebouwen van de nucleaire hulpdiensten. Er zijn procedures opgesteld om ongevallen door verlies van primair koelmiddel tussen de systemen onderling ("ISLOCA") te identificeren.

Een potentiële lek uit het reactorgebouw zou in de tussenruimte vloeien. De tussenruimte wordt in onderdruk gehouden (tegenover de atmosfeer) door ventilatiesystemen die zijn uitgerust met

filtersystemen (absolute filters en koolstoffilters). Verwarmingselementen op de afvoervertakking van de ventilatie houden de gasvochtigheid onder een specifiek niveau om de doeltreffendheid van de filtergroepen te garanderen.

Bovendien beschikken Doel 1/2 over compressoren in de tussenruimte om gassen terug te drijven naar het binnenste containment en, hierdoor, op korte termijn de inventaris maximaal binnen het reactorgebouw te houden.

Containmentisolatie

Elke penetratie door het containment is uitgerust met twee in serie geplaatste lekdichte isolatiesystemen die vanuit de controlezaal kunnen worden bediend. Ze sluiten automatisch wanneer een afwijking wordt vastgesteld die het nodig maakt om het containment van de buitenomgeving te isoleren. Bij defect van deze isolatiesystemen, vereisen procedures corrigerende acties om de situatie te herstellen.

Vermindering van luchtbesmetting binnen het reactorgebouw

Het filtersysteem van het reactorgebouw bestaat uit filters en koolstoffilters en bevindt zich in het binnenste containment. Het filtersysteem vangt door de lucht verspreide radioactieve producten en jodium die bij een ongeval in het containment worden vrijgesteld.
Door te sproeien in het containment, worden de radioactieve deeltjes en het jodium ook in het water gevangen.
Voor de drie eenheden van Tihange en Doel 3 en 4, kan aan de sproeivloeistof een natriumcarbonaatoplossing worden toegevoegd om het via de lucht verspreid jodium efficiënter in de oplossing over te brengen en dan in het sterfputwater van het reactorgebouw vast te houden. Binnen 24 uur kan de containmentsproeikring tot 99 % van de jodiumproducten in de primaire kring oplossen en vangen die in het containment zouden kunnen worden geloosd.

Controle van een lek in het binnenste containment

De lekdichtheid van het containment wordt regelmatig gecontroleerd met drukproeven. Deze tests worden uitgevoerd bij verlaagde druk bij elke geplande stilstand voor herlading en bij ontwerpdruk om de tien jaar.

Andere voorzieningen

Indien met de stralingsbeschermingsmeetapparatuur die in het reactorgebouw of op de ventilatieschouw is geïnstalleerd, radioactieve lozing wordt vastgesteld die het gevolg is van een ongeval bij splijtstofbehandeling, wordt het afzuigventilatiesysteem van het dokgebouw overgeschakeld naar postaccidentele configuratie en wordt de containmentventilatie geïsoleerd.

Bij een ongeval in de splijtstofdokken - met een waterlaag van 10 meter - kan de lozing van jodium en aerosols worden beperkt tot 0,2 % van de bronterm.

De kelders van de nucleaire hulpgebouwen beschikken over een grote opslagcapaciteit voor potentieel vloeibaar afval zodat een mogelijke lozing in de omgeving zo lang mogelijk kan worden uitgesteld.
Bovendien zijn alle eenheden uitgerust met tanks voor het opvangen en bewaren van vloeibaar afval en met verwerkingssystemen om het volume en de activiteit ervan te beperken.

Lozingsberekening en evaluatieprogramma's

Met een specifiek programma kan de dispersie van potentieel radioactieve lozingen worden berekend en voorspeld. Het correcte beheer van potentiële lozingen wordt in de SAMG-procedures beschreven.

6.1.2.4. Communicatie- en informatiesystemen (intern en extern)

Op beide sites is een volledig gamma van verschillende en onafhankelijke communicatieapparatuur en -systemen beschikbaar om een minimale communicatie te kunnen verzekeren die in noodsituaties vereist is.

Kerncentrale Tihange

Interne communicatie

a) Het telefoonnetwerk omvat normale telefoonlijnen die zijn aangesloten op de telefooncentrale van de kerncentrale Tihange (4 uur autonomie, batterijgevoed) en een intern oppiepsysteem via het normale telefoonnetwerk. In de belangrijkste verzamelplaatsen van het personeel, de COS en elke COT zijn 16 autonome "noodgenefoons" geïnstalleerd. Ze worden gebruikt bij defect van de andere communicatiemiddelen, in het bijzonder de telefooncentrale.

b) Een videolijn die de bedrijfskamer van elke eenheid (COT) verbindt met de bedrijfskamer op de site (COS). Deze lijn is niet aangesloten op de telefooncentrale.

c) De kerncentrale is ook uitgerust met een luidsprekernetwerk en een noodsirene, beide met een gezekerde elektrische voeding.

Externe communicatie

a) Het telefoonnetwerk omvat:

- normaal telefoonnetwerk: een telefooncentrale met 2 x 30 buitenlijnen naar Hoei en Amay.
- 2 privélijnen van Electrabel die de kerncentrale verbinden met de Electrabel-centra in Linkebeek en Schaarbeek. Deze lijnen zijn aangesloten op de telefooncentrale.
- rechtstreekse lijnen die de drie controlezalen verbinden met de regionale brandweer. Deze lijnen zijn niet aangesloten op de telefooncentrale.
- 17 rechtstreekse Belgacom-lijnen voor noodsituaties: 14 voor de COS/COT's en 3 voor de controlezalen. Deze lijnen zijn niet aangesloten op de telefooncentrale.
- Enkele extra lijnen die zijn aangesloten op het Belgacom-netwerk maar niet op de telefooncentrale. De manager van de kerncentrale, alle afdelingshoofden en de ploegsupervisors van elke eenheid beschikken over een van deze telefoonlijnen.

Het noodmanagementteam beschikt over de volgende mogelijkheden om naar de buitenwereld te bellen:

- een automatisch terugbelsysteem voor wachtrolleden (emergency call out system "ECOS");
- deze wachtrolleden kunnen worden opgebeld via twee redundante systemen die niet op de telefooncentrale zijn aangesloten: via ASTRID-piepers (boodschappen kunnen worden verzonden via een Astrid-radio die gebruik maakt van een beveiligd netwerk van de overheid) en individuele mobiele telefoons (Proximus-netwerk).

Momenteel wordt in Tihange (COS) het REGETEL-prioriteitscommunicatienetwerk geïnstalleerd dat de externe organisaties die bij het noodplan zijn betrokken met elkaar verbindt.

Bovendien zijn op de site ook andere draadloze telefoons en radio's beschikbaar voor interne en externe communicatie. 13 draadloze telefoons bij een andere operator (momenteel Mobistar) zijn in de COS (4) en elke COT (3 per COT) beschikbaar. 7 Astrid-radio's zijn geïnstalleerd in de COS (1), in de stralingsbeschermingsvoertuigen (2) in de kamers van de eerstehulpteams (3) en in het CARA-centrum. De mobiele Astrid-telefoons zijn compatibel met het communicatienetwerk van de regionale brandweer en met de Astrid-piepers.

Ten slotte kan de kerncentrale Tihange in ultieme omstandigheden (onbeschikbaarheid van de hierboven vermelde communicatiemiddelen) ook gebruik maken van 5 satelliettelefoons.

b) Het videonetwerk omvat:
- een normale lijn in de COS en aangesloten op de telefooncentrale;
- een kanaal dat de COS verbindt met het overheidscoördinatie- en crisiscentrum (CGCCR).

Kerncentrale Doel

Interne communicatie

a) De kerncentrale Doel beschikt over een eigen telefoonnetwerk dat volledig gescheiden is van het openbare Belgacom-netwerk. Het gedeelte van het netwerk dat zich op site van de kerncentrale bevindt is volledig batterijgevoed en heeft een autonomie van zes uur.
Om de werknemers van de site te informeren zijn de volgende toestellen beschikbaar:
- belangrijke berichten van de noodplankamer ("NPK") kunnen op de tv-schermen van de vergaderzalen worden weergegeven;
- de noodplanintercoms kunnen ook worden gebruikt om de noodplankamer en de vergaderzalen en de bedrijfskamers en de stralingsbeschermingskamers van de vier eenheden en het toegangsgebouw en de bewakerslocaties met elkaar te verbinden. Er is ook een verbinding met de medische diensten. De voeding van dit systeem is gegarandeerd;
- "public address" is een intern omroepsysteem met luidsprekers en een sirene.

De technische gebouwen van Doel 3 en Doel 4 beschikken over een autonoom telefoonsysteem ("genefoons" die niet werken op een elektrische voeding of batterijen). In de technische gebouwen van Doel 1/2 is een GNS-telefoonsysteem beschikbaar.

b) In de noodplankamer en de meetvoertuigen zijn gsm-toestellen beschikbaar voor bepaalde specifieke wachtrolleden en voor de hulpdiensten.

c) Er zijn ook walkietalkies met een hoog vermogen.

Externe communicatie

a) Er zijn verschillende openbare en rechtstreekse telefoonlijnen - via het Belgacom-netwerk - voor contact met de buitenwereld Om de beschikbaarheid van interne en externe telefoonlijnen te garanderen wordt gebruik gemaakt van het emergency respons facility system ("ERF"). Dit systeem blokkeert alle onnodige uitgaande telefoongesprekken om de lijnen beschikbaar te houden.

Het telefoonnetwerk omvat ook:
- een REGETEL-telefoon (onafhankelijk van het Belgacom-netwerk) voor telefonisch contact met de overheid;
- gsm-toestellen; het gsm-bereik in de noodplankamers en de stafkamers is gegarandeerd;
- een ASTRID-toestel voor rechtstreeks contact met de gemeentelijke brandweer van Beveren;
- 5 satelliettelefoons die kunnen worden gebruikt mocht de communicatie-infrastructuur niet beschikbaar zijn.

Wachtrolleden die zich niet op de site bevinden kunnen via drie onafhankelijke systemen worden opgeroepen: openbare telefoons, semafoons (ASTRID-piepers) en piepers.
De oproep gebeurt automatisch via het ECOS-systeem. Mochten de gewone communicatiemiddelen niet beschikbaar zijn, zal de noodplanorganisatie de wachtrolleden oproepen via het openbare radio-omroepsysteem.

In de noodplankamer en de On Site Technical Support Centers zijn ook Belgacom-faxlijnen voorzien met gezekerde elektrische voeding.

b) Het videonetwerk omvat een videoconferentiesysteem in de noodplankamer voor de communicatie met het nationale crisiscentrum en Electrabel corporate services in Brussel. Het videoconferentiesysteem kan ook worden gebruikt voor de communicatie met het gemeentelijke

crisiscentrum van Beveren, met de COS in de kerncentrale Tihange en met de crisiscentra van de provincies Oost-Vlaanderen en Antwerpen.

c) Het noodplanzendsysteem is een netwerk van radiozenders-ontvangers, dat in de eerste plaats bedoeld is voor de communicatie met de meetvoertuigen.

6.1.3. Evaluatie van factoren die beheer van ongevallen kunnen verstoren en geasssocieerde onvoorziene gebeurtenissen

6.1.3.1. Uitgebreide verwoesting van de infrastructuur of overstroming rond de installatie die de toegang tot de site verhindert, met inbegrip van de communicatiesystemen

Het interne beheer van schade aan de installaties wordt gedekt door de van kracht zijnde noodplanorganisatie.

Verschillende gebouwen op de site zijn gebunkerd en kunnen worden gebruikt als andere gebouwen verwoest zijn.

De opruiming van de interne infrastructuur in geval van grote obstakels (omgevallen pylonen, putten in de wegen, enz.) hangt af van de beschikbaarheid van geschikt materieel (zwaar interventiematerieel), in de onmiddellijke nabijheid van de site, dat door intern personeel en externe contractanten kan worden gebruikt. Deze middelen zijn beschikbaar via contracten of bedrijfssteun.

De infrastructuur buiten de site valt niet onder de bevoegdheid van de exploitant van de centrale. Het interne noodplan voorziet echter wel in de coördinatie met de bevoegde instanties (ministeries, provincie en leger), die de nodige maatregelen zullen nemen om de toegang tot de site van de kerncentrale te herstellen.

Mocht de regio Tihange door overstromingen worden getroffen, zal toegang nog altijd mogelijk zijn via de grote openbare wegen. In het bijzonder ligt het wegennet in Tihange hoger dan het maximale hoogwaterpeil. De centrale ligt op een hoogte van 71,50 meter terwijl de omgeving meer dan 200 m bereikt. De centrale ligt in de onmiddellijke nabijheid van de stad Hoei. Dit betekent dat het wegennet compact is waardoor de site altijd toegankelijk zal zijn.

6.1.3.2. Verminderde werkprestatie door een hoog plaatselijk dosisdebiet, radioactieve besmetting en verwoesting op de site

Kerncentrale Tihange

Huidige situatie

Om een ernstig ongeval correct te kunnen beheersen is de interventie op de volgende plaatsen geconcentreerd: de hoofdcontrolezaal, de noodcontrolezaal, de bedrijfskamer van de eenheid ("COT"), de bedrijfskamer van de site ("COS"), andere zones (bv. elektrische zalen in het "BAE"-gebouw of monsternemingslokaal in geval van lokale acties).

a) Bewoonbare zone van elke eenheid (controlezalen, COT en aangrenzende zalen)

Bij besmetting van de site voorzien bestaande procedures één toegangsweg naar de "bewoonbare zone" van elke eenheid. Deze toegang bestaat uit een luchtsluis met een omkleedruimte, meetapparatuur om eventuele besmetting op te sporen, basisontsmettingsmiddelen en een voorraad

beschermingsuitrusting. Het doel hiervan is te voorkomen dat de besmetting wordt overgebracht naar de "bewoonbare zone" en om ervoor te zorgen dat het personeel dat de zone verlaat zich kan beschermen conform de instructies van de stralingsbeschermingsagenten.
Voor de andere zones zullen de acties die de eerste uren na een verergerde situatie vereist zijn, eerst worden onderworpen aan analyse/evaluatie in termen van dosisopname/rechtvaardiging, afhankelijk van de omstandigheden van het ongeval.
Alle activiteiten die het herstel van uitrusting impliceren zullen alleen worden gestart na een volledige evaluatie van de interventieomstandigheden. Dit aspect zal worden beheerd door het noodplanteam dat, indien nodig, gebruik maakt van de middelen en bronnen van de externe opvangbasis (CARA).

b) Bedrijfskamer van de site (COS)

De COS bevindt zich in het administratiegebouw van de site, buiten het voor overstroming vatbare gebied en zijn "bewoonbare zone" is uitgerust met externe luchtfilteruitrusting. Bij besmetting van de site voorzien bestaande procedures één toegangsweg naar de "bewoonbare zone" van de COS. Deze toegang is uitgerust met een omkleedruimte, besmettingsmeetapparatuur, basisontsmettingsmiddelen om overbrenging van de besmetting naar de "bewoonbare zone" te voorkomen. Een enkele uitgangsweg is gedefinieerd met een voorraad beschermingsuitrusting waardoor het personeel dat de zone verlaat zich kan beschermen conform de instructies van de stralingsbeschermingsagenten.

c) Externe terugvalbasis (CARA)

Zodra de besmetting van de site door de dienst stralingsbescherming is bevestigd, krijgen de veiligheidsagenten instructies om de toegang tot de site te verbieden. Alleen personen die de toestemming hebben van het noodplanteam wordt toegang verleend tot de site conform de instructies van de stralingsbeschermingsagenten.
Overeenkomstig het interne noodplan, worden alle personen die niet op de site nodig zijn door het crisiscentrum, conform de bestaande procedures, naar een "terugvalbasis" (CARA) geëvacueerd.

<u>Analyse van de robuustheid van de bestaande situatie met betrekking tot de initiërende gebeurtenissen en de bestudeerde scenario's.</u>

a) Bewoonbare zone van elke eenheid (controlezalen, COT en aangrenzende zalen)

De bewoonbare zone van elke eenheid bevindt zich in een gebouw dat bestand is tegen gedegradeerde externe omstandigheden (in het bijzonder aardbeving en overstroming), maar bij een station black-out zullen de ventilatiekringen niet langer bedrijfsklaar zijn. Het herstel van het vermogen door middel van een autonome diesel wordt onderzocht.

b) Bedrijfskamer van de site (COS)

De locatie en de huidige structuur van het gebouw waarin de COS is ondergebracht volstaan niet om perfecte bedrijfsomstandigheden te garanderen bij extreme externe gebeurtenissen (vooral aardbeving). De COT van elke eenheid is uitgerust om dienst te doen als reserve-COS bij verlies van de hoofd-COS. In het nieuwe toegangscontrolegebouw, dat momenteel in aanbouw is, zal een nieuwe COS worden ondergebracht. Beveiligd tegen overstroming, bestand tegen de ontwerpbasisaardbeving, uitgerust met een ontsmettingsinfrastructuur, aangedreven door een autonome generator en uitgerust met externe filteruitrusting, zal deze nieuwe COS perfect geschikt zijn om zijn verwachte functies te vervullen.
Bij verlies of ontoegankelijkheid van de COS is een opvangruimte voorzien in het externe centrum (CARA).

c) Externe terugvalbasis (CARA)

De huidige CARA-terugvalbasis is ondergebracht in gebouwen die niet bestand zijn tegen een zware aardbeving. Bovendien bevindt ze zich in een zone die kan overstromen in geval van een 10.000-jaarlijkse overstroming. Bovendien is ze geplaatst onder de heersende winden op 12 km van de

nucleaire site. Daarom zullen alternatieve oplossingen voor een andere terugvalbasis worden geanalyseerd.

d) Adequaatheid van de radiologische monitoring bij een ernstig ongeval

De COT's en COS zijn uitgerust met indicatoren en registratieapparaten die verbonden zijn met de controlekanalen van de uitlaten van vloeibare en gasvormige afvalstoffen van de 3 eenheden. In deze zalen is ook uitrusting voorzien om de radioactiviteit te meten. Twee dicht bij de COS geparkeerde bestelwagens kunnen ook de radioactiviteit op het terrein meten.
Bij radioactieve besmetting of een excessief dosistempo, kunnen de radioactiviteitsmonitors aan de uitgang van de nucleaire zone niet langer functioneren. De controle kan dan worden overgenomen door de monitors van het toegangsgebouw aan de ingang van de site. Bij stroomonderbreking zal de radioactiviteitsmonitors evenwel niet langer functioneren.
Er zal een meer gedetailleerde analyse worden uitgevoerd van de bijkomende middelen voor radioactiviteitsmonitoring bij ernstige ongevallen die verschillende eenheden treffen.

e) Interventiecapaciteit bij vernieling van sommige installaties op de site

Buiten het feit dat sommige gebouwen "gebunkerd" zijn en bij vernieling van sommige installaties dienst kunnen doen als vergaderpunt en dispatching zone, is uitrusting beschikbaar die kunnen worden gebruikt om de wegen vrij te maken. Het gebruik van zwaar materieel is echter alleen gepland via contracten met bedrijven in de onmiddellijke nabijheid van de kerncentrale.

Kerncentrale Doel

Huidige situatie

Om een ernstig ongeval correct te kunnen beheersen is de interventie op de volgende plaatsen geconcentreerd: de hoofdcontrolezaal, de noodcontrolezaal, de aangrenzende controlezaal, de On Site Technical Support Center ("OTSC"), en de noodplankamer op de site.

a) Bewoonbare zone van elke eenheid (controlezalen, aangrenzende controlezalen)

Bij besmetting van de site voorzien bestaande procedures één toegangsweg naar de "bewoonbare zone" van elke eenheid. Deze toegang bestaat uit een luchtsluis met een omkleedruimte, meetapparatuur om eventuele besmetting op te sporen, basisontsmettingsmiddelen en een voorraad beschermingsuitrusting. Het doel hiervan is te voorkomen dat de besmetting wordt overgebracht naar de "bewoonbare zone" en om ervoor te zorgen dat het personeel dat de zone verlaat zich kan beschermen conform de instructies van de stralingsbeschermingsagenten. Deze leefzones zijn uitgerust voor een langdurig verblijf, met een keuken met een voedselvoorraad en sanitaire voorzieningen (douches en toiletten).

b) On Site Technical Support Center (OTSC) en de noodplankamer op de site

De OTSC en de noodplankamer op de site zijn uitgerust met een omkleedruimte, meetapparatuur om eventuele besmetting op te sporen, basisontsmettingsmiddelen en een voorraad beschermingsuitrusting. Het doel hiervan is te voorkomen dat de besmetting wordt overgebracht naar de "bewoonbare zone" en om ervoor te zorgen dat het personeel dat de zone verlaat zich kan beschermen conform de instructies van de stralingsbeschermingsagenten. Deze leefzones zijn uitgerust voor een langdurig verblijf, met een keuken met een voedselvoorraad en sanitaire voorzieningen (douches en toiletten).

c) Extern zorgcentrum

In de gemeente Wachtebeke, op 45 km van de site, is een locatie uitgerust als extern zorgcentrum voor werknemers van de site. Het domein beschikt over de nodige interventiemiddelen voor de controle van mogelijke besmetting en de ontsmetting van voertuigen en personen.

Analyse van de robuustheid van de bestaande situatie met betrekking tot de initiërende gebeurtenissen en de bestudeerde scenario's.

a) Bewoonbare zone van elke eenheid (controlezalen, bedrijfskamers)

Deze locaties zijn gevestigd in gebouwen die bestand zijn tegen extreme omstandigheden, maar bij een station black out zullen de ventilatiesystemen niet meer operationeel zijn.

b) OTSC en noodplankamer op de site

De noodplankamer biedt een goede afscherming, bescherming tegen interne besmetting en beschikt over een gegarandeerde elektrische voeding. Het gebouw waarin de noodplankamer is ondergebracht is niet seismisch ontworpen. De OTSC van Doel 3 en Doel 4 doet dienst als ondersteuning voor de noodplankamer. De OTSC's van Doel 3 en Doel 4 beschikken over dezelfde meetuitrusting en installaties als de noodplankamer, maar de afscherming is minder performant.

c) Externe terugvalbasis

Er moet een locatie worden gevonden die dienst kan doen als externe terugvalbasis tijdens modus "High" noodsituaties (zie verder). Het opleidingscentrum Scaldis in Kallo zou hiervoor kunnen worden gebruikt.

d) Adequaatheid van de radiologische monitoring bij een ernstig ongeval

De controlezalen, de aangrenzende controlezalen, COT's en COS zijn uitgerust met indicatoren en registratieapparaten die verbonden zijn met de controlekanalen van de uitlaten van vloeibare en gasvormige afvalstoffen. In deze zalen is ook een basisuitrusting voorzien om de radioactiviteit en besmetting op deze locaties te meten. Op de site is een meetwagen beschikbaar om de radioactiviteit op het terrein te meten.
Bij radioactieve besmetting of een excessief dosistempo, kunnen de radioactiviteitsmonitors aan de uitgang van de nucleaire zone niet langer functioneren. De controle kan dan worden overgenomen door de monitors van het toegangsgebouw aan de ingang van de site. De monitors zijn uitgerust met een alternatieve voeding in geval van verlies van voedingsbron.
Er zal een meer gedetailleerde analyse worden uitgevoerd van de bijkomende middelen voor radioactiviteitsmonitoring bij ernstige ongevallen die verschillende eenheden treffen.

6.1.3.3. Haalbaarheid en doeltreffendheid van ongevallenbeheermaatregelen onder omstandigheden van externe gevaren (aardbevingen, overstromingen)

Externe bedreigingen die gepaard gaan met uitzonderlijke natuurlijke fenomenen kunnen gelijktijdig alle eenheden op dezelfde site treffen. Indien een ongeval verschillende eenheden op dezelfde site treft, moet snel een geschikte noodplanorganisatie worden opgezet. Voordat deze multi-eenheid organisatie van kracht is, wordt het wachtrolpersoneel verdeeld volgens de behoeften van de coördinatiecentra en het noodplanteam zal worden samengesteld zodra het personeel beschikbaar is.

In de organisatie van het interne noodplan zijn drie operationele niveaus bepaald:

- Modus "Standard", met één betrokken eenheid; in dit geval blijft de huidige organisatie van het interne noodplan van toepassing;
- Modus "Alert"; wanneer een voorspelbare crisissituatie waarschijnlijk verschillende eenheden zal treffen (bv. grootschalige overstroming); in dit geval zullen wachtrolleden en een aantal medewerkers van de technische dienst permanent op de site stand-by blijven;
- Modus "High": wanneer een niet-voorspelbare crisissituatie plots verschillende eenheden op dezelfde site gelijktijdig treft (bv. aardbeving).

De organisatie van het interne noodplan van de site in modus "high" zal worden geanalyseerd en nauwkeurig bepaald.

Voor de eerste 24 uur na dergelijke plotse gebeurtenis (modus "high"):

- de eerste fase van het ongevallenbeheer zal worden afgehandeld door de bedrijfsploegen en het wachtrolpersoneel. Het noodplanteam zal operationeel worden om de situatie te beheren. Het kan andere wachtrolmedewerkers oproepen (die nog niet zijn opgeroepen in het kader van het interne noodplan). Ze zullen zo snel mogelijk in actie komen;
- het technische beheer van het ongeval gebeurt vanuit de COT (Kerncentrale Tihange) en vanuit de bedrijfskamer (Kerncentrale Doel) van elke getroffen eenheid. Met dit in gedachten, wordt voorzien om de wachtrolteams te versterken om zeker te zijn dat dezelfde crisisfuncties worden geactiveerd alsof het ongeval alleen die eenheid zou treffen.
- de crisisorganisatie binnen de COS (Kerncentrale Tihange) en de noodplankamer op de site (Kerncentrale Doel) richt zich op communicatie, het beheer van site-bekommernissen en logistieke coördinatie;
- de Corporate noodplanstructuur zal worden uitgebreid met een nieuwe veiligheidsfunctie, de "verbindingsfunctionaris" die op de site verantwoordelijk zal zijn voor de communicatie tussen het noodplanteam en het Corporate team;
- de organisatie en de beschikbare middelen moeten aangepast zijn aan het beheer van dit type plotse gebeurtenis van aanzienlijke omvang, met inbegrip van het inzetten van niet-conventionele middelen die de eerste 72 uur nodig kunnen zijn.

Na de eerste 24 uur volgend op dergelijke plotse gebeurtenis (modus "High"), zal de noodorganisatie op siteniveau, ten laatste binnen 24 uur, kunnen rekenen op uitgebreide steun vanuit de Corporate structuur ("CMCPB" – Crisis Management Centre Production Belgium). Via het CMCPB, zal een organisatiestructuur worden opgezet afhankelijk van de precieze situatie op de site en de gebeurtenissen die plaatsvinden. In deze situatie is de "veiligheidsverbindingsfunctionaris" verantwoordelijk voor de communicatie tussen de site in kwestie en de Corporate structuur.

De organisatiestructuur die na de eerste 24 uur zal worden opgezet voor het crisisbeheer moet aan de volgende principes voldoen:

- een unieke noodplanmanager in de COS op de site (Kerncentrale Tihange) en een noodplankamer op de site (Kerncentrale Doel)
- het technische beheer van elke eenheid gebeurt vanuit de COT (Kerncentrale Tihange) en vanuit de bedrijfskamer (Kerncentrale Doel) met de steun van het verstrekte wachtrolpersoneel;
- de Corporate structuur zal voor ondersteunende functies zorgen;
- de Corporate structuur zal, indien nodig en volgens de behoeften, voor versterking op de site zorgen (bv. deskundigen).

De ondersteunende functies waarvoor de Corporate structuur kan zorgen zijn onder andere logistiek, radiologische bijstand, menselijke factoren, langetermijnplanning, communicatieproblemen, ...

Een analyse van de exacte organisatie van de Corporate structuur en de bijhorende menselijke en technische middelen is gepland.

Om de Corporate structuur toe te laten onder deze omstandigheden haar taken zo goed mogelijk uit te voeren, zullen de volgende herevaluaties worden gestart van:

- de adequaatheid van de huidige infrastructuur, in het bijzonder de externe terugvalbasis;
- de prestatie van de communicatiemiddelen, in het bijzonder externe communicatie;
- de software om de radiologische gevolgen te berekenen.

6.1.3.4. Onbeschikbaarheid van elektrische voeding

De ontwerpbasis van de eenheden houdt rekening met het volledige verlies van de externe en interne elektrische voedingen. De procedures voor het beheer van ongevallen en ernstige ongevallen houden rekening met deze factor bij het bedrijf van de installaties.

6.1.3.5. Potentieel falen van de instrumentatie

De procedures voor het beheer van ongevallen en ernstige ongevallen zijn gebaseerd op een beperkt aantal parameters die worden gecontroleerd met behulp van veiligheidsinstrumentatie. Tijdens de uitvoering van procedures voor het beheer van ongevallen en ernstige ongevallen wordt een permanente verbinding aangelegd tussen de ploegen en het noodmanagementteam. De gemeten fysieke parameters vormen een belangrijk onderdeel van deze uitwisseling. Om zeker te zijn dat er geen sprake is van defect wordt de validiteit van de verstrekte parameters geëvalueerd.

In de zeer onwaarschijnlijke veronderstelling dat alle instrumentatie tijdelijk buiten werking is, zullen de nodige acties worden geëvalueerd en uitgevoerd op basis van door het noodmanagementteam geïmplementeerde berekeningsmiddelen en grafieken. Er zal een procedure worden opgesteld om bij een defect dat de instrumentatie kan schaden het vermogen te herstellen van één veiligheidssysteem naar een ander. Ze zal rekening houden met de verschillende spanningsniveaus 6 en 6,6 kV, 380 V, 115 VDC, 220 VAC.

Bij verlies van alle interne voedingsbronnen (hoogst onwaarschijnlijk gezien het aanzienlijke aantal reservevoedingen) bestaan er in elke eenheid procedures waarbij, door middel van draagbare autonome toestellen, de signalen van elk instrumentatiekanaal kunnen worden gedetecteerd en gemeten. Dit zorgt ervoor dat de metingen die nodig zijn om de crisis te beheersen onder alle omstandigheden beschikbaar blijven.

De niet-conventionele middelen die beschikbaar zijn in de eenheden van Tihange 2 en Tihange 3 maken het mogelijk het vermogen van de instrumentatie te herstellen door middel van een autonome elektriciteitsgenerator.

6.1.3.6. Potentiële effecten van de andere naburige installaties op de site, met inbegrip van overwegingen van beperkte beschikbaarheid van opgeleid personeel om multi-eenheid, uitgebreide ongevallen aan te pakken.

In het ontwerp van de eenheden werd rekening gehouden met mogelijke externe bedreigingen. Eén punt van de periodieke veiligheidsherziening onderzocht de risico's voor een eenheid van de aanwezigheid van andere eenheden op de site en de gevaren van toxische stoffen; in de ontwerpbasis wordt aan alle geëvalueerde situaties aandacht besteed.

6.2. Verlies van koeling: ongevallenbeheermaatregelen die van kracht zijn in de verschillende fasen van een scenario van verlies van koeling

Bij een ernstig ongeval moet bovenal met alle beschikbare middelen de splijtstofkoeling worden hersteld en het aan waterstof verbonden risico worden gecontroleerd. Indien de omvang en/of combinatie van de bedreigingen toch leidt tot het gedeeltelijk of volledig smelten van de splijtstof, moeten acties worden ondernomen om de integriteit van de veiligheidsfuncties te handhaven (of te herstellen). De doelen zijn dan om potentiële radioactieve lozingen in de omgeving te vermijden of te beperken en het containment en de kern te stabiliseren.

6.2.1. Vóór beschadiging van de splijtstof in het drukvat van de reactor

Kerncentrale Tihange

Ongevallenprocedurestrategie vóór overschakeling naar de beheersrichtlijnen voor ernstige ongevallen (SAMG)

Voor Tihange 1 is de responsstrategie bij verlies van koeling van de primaire kring gebaseerd op de benadering ontwikkeld door Framatome (ontwerper van de primaire kring van de eenheid), via een reeks procedures ontwikkeld tijdens de jaren 80 van vorige eeuw en die regelmatig worden herzien. De "FROG" (FRamatome Owner Group) actualiseert momenteel de oorspronkelijke procedures.
Afhankelijk van de oorspronkelijke toestand van de eenheid op het ogenblik dat het probleem optreedt, wordt een geschikte reactie bepaald. Deze oorspronkelijke toestanden zijn in twee categorieën ingedeeld. De eerste categorie omvat de toestanden van volledige vermogenswerking tot intermediaire stilstand (stilstandskoeling niet aangesloten). De tweede categorie omvat de andere toestanden: temperatuur van de primaire kring lager dan 177 °C, stilstandskoeling aangesloten en primaire kring gesloten en ontlucht.
Voor Tihange 2 en Tihange 3 is de strategie gebaseerd op de benadering ontwikkeld door Westinghouse via de "ERG"-procedures (Emergency Response Guidelines) ontwikkeld in de jaren 80 van vorige eeuw en die regelmatig worden herzien. De oorspronkelijke procedures worden nu geactualiseerd door de "WOG" (Westinghouse Owner Group).

Strategie om kernschade te voorkomen

Om de splijtstof te allen tijde te kunnen koelen is de aanwezigheid van een primair koelmiddel en een koudebron vereist:

- het primaire koelmiddel kan worden aangevoerd via de veiligheidsinjectiewegen (hoge en lage druk);
- de koudebron kan als volgt worden veiliggesteld: via de stoomgeneratoren door stoom in de atmosfeer te blazen via stoomuitstoot naar de condensor of naar de hulpvoedingswaterturbopomp.

Strategie om de druk in de primaire kring te verlagen

In Tihange 1 vermindert overdruk in de primaire kring de mogelijkheid van suppletie van de primaire kring tijdens de eerste fase van het ongeval en compliceert het beheer van het ongeval in het algemeen. Afhankelijk van hun beschikbaarheid kan de druk op de volgende manieren worden verlaagd: afkoeling van de primaire kring met de stoomgeneratoren, normaal sproeien van het drukregelvat bij bedrijf van de pompen van de primaire kring, hulpbesproeiing met behulp van de ladingspompen, openen van een van de SEBIM-ontlastingskleppen op het drukregelvat.
Afhankelijk van hun beschikbaarheid kan in Tihange 2 en Tihange 3 de druk op de volgende manieren worden verlaagd: afkoeling van de primaire kring met de stoomgeneratoren, normaal sproeien van het drukregelvat bij bedrijf van de pompen van de primaire kring, hulpbesproeiing met behulp van de

ladingspompen, openen van een van de ontlastingskleppen van het drukregelvat, tweedeniveausproeien met behulp van de pompen van de noodinjectiekring ("CIU").

Kerncentrale Doel

Ongevallenprocedurestrategie vóór overschakeling naar de beheersrichtlijnen voor ernstige ongevallen

Voor de eenheden van Doel is de strategie gebaseerd op de benadering ontwikkeld door Westinghouse via de "ERG"-procedures (Emergency Response Guidelines) ontwikkeld in de jaren 80 van vorige eeuw en die regelmatig worden herzien. De oorspronkelijke procedures worden nu geactualiseerd door de "WOG" (Westinghouse Owner Group).

Strategie om kernschade te voorkomen

Om de splijtstof te allen tijde te kunnen koelen is de aanwezigheid van een primair koelmiddel en een koudebron vereist:

- het primaire koelmiddel kan worden aangevoerd via de veiligheidsinjectiewegen (hoge en lage druk);
- de koudebron kan als volgt worden veiliggesteld: via de stoomgeneratoren door stoom in de atmosfeer te blazen via stoomuitstoot naar de condensor of naar de hulpvoedingswaterturbopomp.

Strategie om de druk in de primaire kring te verlagen

Overdruk in de primaire kring vermindert de mogelijkheid van suppletie van de primaire kring tijdens de eerste fase van het ongeval en compliceert het beheer van het ongeval in het algemeen. Afhankelijk van hun beschikbaarheid kan de druk op de volgende manieren worden verlaagd: afkoeling van de primaire kring met de stoomgeneratoren, normaal sproeien van het drukregelvat bij bedrijf van de pompen van de primaire kring, hulpbesproeiing met behulp van de ladingspompen, openen van een van de ontlastingskleppen, tweedeniveausproeien met behulp van de pompen van de noodinjectiekring (RJ- of EA-systemen).

6.2.2. Na beschadiging van de splijtstof in drukvat van de reactor

Kerncentrale Tihange

Indien de hierboven beschreven ongevallenprocedures om beschadiging aan de kern te voorkomen niet volstaan voor de gebeurtenis, en zodra de uitgangstemperatuur van de kern wijst op beschadiging van de kern, wordt beslist om de richtlijnen te volgen voor het beheer van ernstige ongevallen ("SAMG").

De SAMG zijn gebaseerd op een benadering die zich richt op de symptomen van de toestand van de kerncentrale (symptoomgebaseerd) en gelden daarom voor alle scenario's die kunnen leiden tot een van de toegangscriteria voor de richtlijnen voor het beheer van ernstige ongevallen (hoge uitgangstemperatuur van de kern of radioactiviteit in het containment).

De verschillende strategieën die in de SAMG worden ontwikkeld hebben dezelfde doelen (in volgorde van prioriteit):

- het vrijkomen van fissieproducten in de omgeving stoppen;
- het containment stabiel houden of het naar een stabiele en gecontroleerde toestand terugbrengen;
- de kern terugbrengen in een stabiele en gecontroleerde toestand;

Bij verlies van kernkoeling en beschadiging van de kern zijn de strategieën ontwikkeld in de Tihange-richtlijnen om de koeling te herstellen vóór breuk van het reactorvat en om een stabiele en gecontroleerde toestand in de kern te bereiken, de volgende:

- water injecteren in de stoomgeneratoren om de restwarmte te evacueren;
- de druk van de primaire kring verlagen om het aantal systemen te maximaliseren die er water in kunnen injecteren;
- water injecteren in de primaire kring;
- water injecteren in het containment om een adequate NPSH te garanderen om de recirculatiefase te starten.

Kerncentrale Doel

Indien de hierboven beschreven ongevallenprocedures om beschadiging aan de kern te voorkomen niet volstaan voor de gebeurtenis, en zodra de uitgangstemperatuur van de kern wijst op beschadiging van de kern, wordt beslist om de "BK-procedures" te volgen (de BK-procedures zijn het equivalent van de SAMG in de kerncentrale Doel).

De BK-procedures zijn symptoomgebaseerd; anders gezegd, ze zijn opgesteld volgens de toestand van de eenheid. Ze gelden voor alle scenario's die voldoen aan de ingangscriteria van de BK-0-procedure: hoge uitgangstemperatuur van de kern en een specifiek criterium in geval dat de thermokoppels aan de uitgang van de kern niet beschikbaar zijn tijdens een stilstand.

De verschillende strategieën die in de BK-procedures worden ontwikkeld hebben dezelfde doelen (in volgorde van prioriteit):

- het vrijkomen van fissieproducten in de omgeving stoppen;
- het containment stabiel houden of het naar een stabiele en gecontroleerde toestand terugbrengen;
- de kern terugbrengen in een stabiele en gecontroleerde toestand;

Bij verlies van kernkoeling en beschadiging van de kern zijn de strategieën ontwikkeld in de BK-procedures om de koeling te herstellen vóór breuk van het reactorvat en om een stabiele en gecontroleerde toestand in de kern te bereiken, de volgende:

- water injecteren in de stoomgeneratoren om de restwarmte te evacueren;
- de druk van de primaire kring verlagen om het aantal systemen te maximaliseren die er water in kunnen injecteren;
- water injecteren in de primaire kring;
- water injecteren in het containment om een adequate NPSH te garanderen om de recirculatiefase te starten en om de reactorput onder het reactorvat onder water te zetten.

6.2.3. Na faling van het reactorvat

Kerncentrale Tihange

Bij verlies van kernkoeling en beschadiging van de kern zijn de strategieën ontwikkeld in de Tihange-richtlijnen om de koeling van de kern te herstellen na breuk van het reactorvat en om een stabiele en gecontroleerde toestand van de kern te bereiken, de volgende:

- water injecteren in het containment om een voldoende NPSH te garanderen om de recirculatiefase te starten;
- water injecteren in de reactorput, om de kernfragmenten af te koelen die in de reactorput aanwezig zijn en in het reactorvat achterblijven.

Kerncentrale Doel

Bij doorboring van het reactorvat kan een gedeelte van de splijtstof nog aanwezig is in het reactorvat, in de kern en/of op weg naar de bodem van het reactorvat. Daarom specificeren de BK-procedures altijd injectie in de primaire kring zodat de fragmenten die niet in de reactorput gerelocaliseerd zijn kunnen worden gekoeld, maar ook dat water in de reactorput wordt gebracht via de doorboring van het reactorvat.

Watertoevoer naar het reactorgebouw is noodzakelijk, in de eerste plaats om de reactorput onder te dompelen, wat de kans op afkoeling van het kernmateriaal vergroot, en in de tweede plaats om het waterpeil te verhogen dat, op zijn beurt, recirculatie mogelijk maakt.

6.2.4. Cliff-edge-effecten en timing

Om mogelijke cliff-edge-effecten te identificeren na verlies van de kernkoeling, wordt met twee initiële situaties rekening gehouden: in het eerste geval is de primaire kring gesloten, en de restwarmte wordt dan door de stoomgeneratoren geëvacueerd. In het tweede geval is de primaire kring open naar het containment (stilstandstoestanden). De gevolgen van het verlies van elektrische bronnen en/of koelbronnen worden gedekt door de veronderstelling van een volledige station black-out (SBO) in de ongunstigste configuratie van de eenheid.

Kerncentrale Tihange

Primaire kring gesloten

Dit eerste geval wordt gedekt door de vermogenstoestand van de eenheid (de ongunstigste situatie). Na het volledige verlies van het elektrische vermogen blijft op korte termijn alleen de turbopomp van het veiligheids-/hulpvoedingswatersysteem (respectievelijk "EAS" in Tihange 1 en "EAA" in Tihange 2 en Tihange 3) beschikbaar om de stoomgeneratoren van water te voorzien. Deze configuratie is gekenmerkt door hoge drukken en temperaturen in de primaire en secundaire kringen, door de evacuatie van de secundaire stoom via de atmosferische ontlastingsafsluiters ("VDA") of de veiligheidskleppen van de stoomgeneratoren, en door onvoldoende koeling van de dichtingen van de pompen van de primaire kring, wat op korte termijn zou kunnen leiden tot beperkte primaire lekken.

De belangrijkste beperking waarmee men wordt geconfronteerd is de waterdepletie in de "EAS"-/"EAA"-tanks. In Tihange 1 kan met het volume van 120 m^3 de primaire kring door de stoomgeneratoren slechts 3 uur worden gekoeld (tot de stoomgeneratoren volledig leeg zijn) bij een plotse station black-out, en slechts 7 uur bij een progressief ongeval en volledig verlies van het elektrische vermogen één uur na de noodstop van de reactor. Er zijn niet-conventionele middelen beschikbaar om het water in de "EAS"-tank aan te vullen via de brandveiligheidskring. Met de diesels van de brandveiligheidskring en aangesloten slangen kan de tank snel worden aangevuld (30 minuten). Er zullen haalbaarheidsstudies worden uitgevoerd om de mogelijkheden te onderzoeken om de capaciteit van de EAS-tank in Tihange 1 te verhogen. Er zal ook een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd naar de toevoeging van een veiligheidswaterpomp aan de stoomgeneratoren.
In Tihange 2 heeft de "EAA"-tank een capaciteit van 680 m^3 waarmee de stoomgeneratoren 17 uur kunnen worden gevoed. In Tihange 3 heeft de "EAA"-tank een capaciteit van 800 m^3 waarmee de stoomgeneratoren 23 uur kunnen worden gevoed.

Om schade aan de dichtingen van de pompen van de primaire kring te voorkomen, is het aanbevolen om de eerste uren na het ongeval de druk van de primaire kring te verlagen. Voor Tihange 2 en Tihange 3 is dit evenwel niet duidelijk in de procedures vermeld. De procedures worden nu aangepast om dit te verduidelijken.

Na het manueel openen van de atmosferische ontlastingsafsluiters (VDA) en de drukverlaging van de primaire kring, moet de operator het risico aanpakken van het injecteren van stikstof van de accumulatoren van het veiligheidsinjectiesysteem ("CIS") in de primaire kring door manuele bediening van deze afsluiters (de installatie van handbediende sturingen op deze afsluiters zou hun instelling moeten vergemakkelijken - de haalbaarheidsstudie zal worden uitgevoerd). Om de achteruitgang van de warmteoverdracht van de primaire naar de secundaire kring te vermijden, moet de druk van de primaire kring boven de drempel van de stikstofinjectie van de CIS-accumulatoren worden gehouden. De secundaire druk moet ook compatibel worden gehouden met het bevredigende bedrijf van de voedingswaterturbopomp.

Wanneer het batterijniveau van de bedienings- en instrumentatiepanelen laag is (ongeveer 7 uur na het begin van het ongeval voor Tihange 1), stopt de turbopomp en de watersuppletie naar de stoomgeneratoren is verloren. Er zijn alternatieve middelen nodig om de controle van de turbopomp te herstellen om verlies van de kernkoeling te voorkomen. Indien dit niet gebeurt, zullen de stoomgeneratoren naar verwachting binnen ongeveer 12 uur na verlies van het vermogen uitdrogen.
Voor Tihange 2 wordt na 6 tot 12 uur een laag batterijniveau bereikt en voor Tihange 3 na 7 tot 14 uur. Wanneer dit gebeurt, moeten de snelheid van de turbopomp en de het waterdebiet naar de stoomgeneratoren handmatig worden ingesteld. Op dat moment zijn de uitlezingen van het waterpeil in stoomgeneratoren verloren, en daarom moet de operator vooraf een correct debiet hebben ingesteld, anders kan dit uiteindelijk leiden tot uitdroging of overvulling van de stoomgeneratoren.

Het volledige verlies van het elektrische vermogen is echter uiterst onwaarschijnlijk omdat dit het volgende zou impliceren:

- het verlies van alle externe elektrische voedingen;
- het verlies van ook alle interne elektrische voedingen van 1^{e} en 2^{e} niveau.

In het onwaarschijnlijke geval van verlies van koeling door de stoomgeneratoren, begint de primaire kring te koken en zijn druk stijgt tot de drempel van de ontlastingskleppen van het drukregelvat of de VDA-ontlastingsafsluiters. De primaire kring verliest progressief zijn waterinventaris wat leidt tot de ontbloting en het smelten van de splijtstof, de relocatie van het corium naar de bodem van het reactorvat en uiteindelijk de doorboring van het reactorvat. Zonder tussenkomst van de operator duurt dit proces 2 tot 3 uur.

Volgens de ongevallenprocedures of de SAMG-richtlijnen moet de operator bij verlies van koeling door de stoomgeneratoren de primaire kring in onderdruk brengen en zo de injectie in de primaire kring vergemakkelijken en de "feed and bleed" van de primaire kring starten. Het openen van de SEBIM-ontlastingskleppen van het drukregelvat ("PORV" en "MORV" in Tihange 2 en Tihange 3) resulteert in een drukverlaging van de primaire kring wat de passieve injectie toelaat van de inventaris van de accumulatoren. Deze actie kan de voortgang van het ongeval met verschillende uren vertragen. Tijdens deze periode moet de actieve uitrusting worden hersteld of moet mobiele uitrusting worden ingezet om water in de primaire kring te injecteren.
Om de betrouwbaarheid van de SEBIM-/PORV-MORV-kleppen te verhogen, zal een alternatieve stroomtoevoer worden bestudeerd.

De niet-conventionele middelen ("CMU"-kring) zijn ook beschikbaar om de stoomgeneratoren aan te vullen wanneer hun druk laag is.

<u>Primaire kring open</u>

Hier is sprake van een groot aantal configuraties van de primaire kring die sterk verschillen volgens de restwarmte en de waterinventaris van de primaire kring (met inbegrip van het volume van de bassins van het reactorgebouw). De ongunstigste situatie is het eerste stadium van het stilleggen van een eenheid bekend als "mid-loop" of "reduced inventory". Voor Tihange 1 komt deze configuratie voor gemiddeld 5 dagen na het begin van de stilstand en 3 dagen voor Tihange 2 en Tihange 3. Er is sprake van een verminderde waterinventaris in de primaire kring in combinatie met een nog relatief hoge restwarmte in de kern. Na het verlies van alle elektrische voedingsbronnen warmt het water van de primaire kring in minder dan een half uur op tot kooktemperatuur, gevolgd door de uitstoot van de in het containment geproduceerde stoom. Het potentiële effect van deze stoomuitstoot is een constante drukverhoging in het containment die uiteindelijk, wanneer niets wordt ondernomen om de druk in het containment te verlagen, de gravitaire suppletie naar de primaire kring verhindert.

In Tihange 1 is de gravitaire suppletie van "B01Bi"-tank efficiënt en kan de blootlegging van de kern 1 dag uitstellen. Indien niets wordt ondernomen kan na 1 dag de kern smelten.

In Tihange 2 is de gravitaire suppletie van "CTP"-tanks efficiënt en kan de blootlegging van de kern 1 dag uitstellen.

In Tihange 3 is gravitaire suppletie naar in druk verlaagde primaire kring niet mogelijk via de "CTP"-tanks omdat ze zich op een lager niveau dan de primaire lussen bevinden. Deze kenmerkende eigenschap van Tihange 3 houdt in dat de kernkoeling sneller achteruit gaat dan in andere eenheden: tenzij de primaire kring actief wordt aangevuld, zou de kern binnen 3 uur na het begin van het ongeval smelten (hoewel de situatie nog altijd zeer onwaarschijnlijk is). Er wordt een haalbaarheidsstudie gestart om in deze configuratie een bijvulsysteem in de primaire kring op te stellen.

Het bijvullen van "B01Bi"- of CTP-tanks via verschillende waterbronnen (gedeeltelijke drainage van de dokken, "CAB"- of "CEI"-reservoirs) zal de autonome werking van "B01Bi"- of "CTP"-tanks verlengen tot herstel van de conventionele koelbron.

Door middel van de CMU-kring voorzien van slangaansluitingen kan ook een watersuppletiesysteem naar de "B01Bi"- en CTP-tanks tot stand worden gebracht.

Door het creëren van een uitlaat zou de constante drukverhoging van het containment ook kunnen worden vermeden. Voor Tihange 1 beperkt het ventilatiesysteem ("VBP") ook de drukverhoging door de stoom buiten het containment te lozen.

In de configuratie waarbij de dokken van het reactorgebouw vol zijn, wordt de tijd tot blootlegging van de splijtstofelementen op vijf dagen geschat voor Tihange 1, en op minstens drie dagen voor Tihange 2 en Tihange 3 in de ongunstigste situatie (d.w.z. in de afwezigheid van een aansluiting tussen de dokken van het reactorgebouw en dat van het gebouw van de nucleaire hulpdiensten). Deze periode volstaat om een alternatieve koel-/suppletiestrategie in te zetten.

Kerncentrale Doel

Primaire kring gesloten

Dit eerste geval wordt gedekt door de vermogenstoestand van de eenheid (de ongunstigste situatie). Na het volledige verlies van het elektrische vermogen, blijft op korte termijn alleen de turbopomp van het veiligheids-/hulpvoedingswatersysteem (AFW voor Doel 1/2, AF voor Doel 3 en Doel 4) beschikbaar om de stoomgeneratoren van water te voorzien. Deze configuratie is gekenmerkt door hoge drukken en temperaturen in de primaire en secundaire kringen, door de evacuatie van de secundaire stoom via de atmosferische ontlastingsafsluiters of de veiligheidskleppen van de stoomgeneratoren, en door onvoldoende koeling van de dichtingen van de pompen van de primaire kring, wat op korte termijn zou kunnen leiden tot beperkte primaire lekken.

In deze omstandigheden schrijft de ongevallenprocedure een zo snel mogelijke koeling voor van de primaire kring om de druk op de dichtingen van de pompen van de primaire kring te beperken. De koeling van de primaire kring en de evacuatie van de restwarmte leidt tot een aanzienlijk waterverbruik door de AFW-/AF-kring.

Voor Doel 1/2 treedt na anderhalf uur het eerste cliff-edge-effect op: het ledigen van de AFW-reservoirs (2 x 90 m³), waarna de stoomgeneratoren de primaire kring nog verschillende uren blijven koelen.
Hierna is de alternatieve watertoevoer naar de stoomgeneratoren beschikbaar.

- een dieselpomp en tijdelijke pijpleidingen zijn aanwezig om de AFW-tank te vullen via de grote MW-tank;
- Er loopt een studie naar de plaatsing van aansluitpunten voor de toevoer van water vanuit de brandweerkring (FE) naar de AFW-turbopompinlaat;
- er loopt een studie om buisleidingen die nodig zijn om het FE-water naar de AFW-pomp te voeren seismisch te kwalificeren.

Voor Doel 3 en Doel 4 laat de grote inhoud van de AF-reservoirs (minstens 700 m³) een aanvulling gedurende 8 uur toe, waarna de stoomgeneratoren de primaire kring nog verschillende uren blijven koelen.

Bovendien is een alternatieve watertoevoer naar de stoomgeneratoren beschikbaar;

- de AFW-turbopompen kunnen rechtstreeks aanzuigen vanuit de LU-vijver;
- er loopt een studie naar de plaatsing van aansluitpunten voor de toevoer van FE-water naar de AFW-turbopompinlaat;
- er loopt een studie om buisleidingen die nodig zijn om het FE-water naar de AFW-pomp te voeren seismisch te kwalificeren.

Zodra de AFW-/AF-tanktoevoerproblemen zijn opgelost, is de druk op de dichtingen van de pompen van de primaire kring de volgende prioriteit. De voorgeschreven afkoeling en drukverlaging van de primaire kring tot 12 bar vermindert in niet geringe mate de druk op de dichtingen. Zodra deze druk is bereikt (na verschillende uren), moet de afkoeling ter hoogte van de atmosferische ontlastingskleppen handmatig worden gestopt om stikstofinjectie in de primaire kring door de veiligheidsinjectieaccumulatoren en het verlies van het voedingswaterturbopomp te voorkomen. In de procedures voor de koeling met stoomgeneratoren zal de aandacht worden gevestigd op de mogelijkheid van handmatige opening van de ontlastingskleppen van de stoomgeneratoren.

Het verlies van gelijkstroom van de instrumentatie en bedieningsapparatuur (door lege batterijen) leidt niet tot het functieverlies van de voedingswaterturbopomp aangezien het debiet handmatig kan worden aangepast, maar het leidt wel tot het overzichtsverlies van het verloop van het ongeval.
De eerste bezorgdheid is dan het leegkoken of de overvulling van de stoomgeneratoren door het gebrek aan informatie over het niveau. Dit scenario kan zich voordoen 10 uur (Doel 1/2) of tussen 4 en 6 uur (Doel 3 en Doel 4) na een station black-out. Er zal een back-upnetwerk van 308 V worden voorzien om batterijgelijkrichters alternatief te voeden.

In het onwaarschijnlijke geval van verlies van koeling door de stoomgeneratoren, begint de primaire kring te koken en zijn druk stijgt tot de drempel van de ontlastingskleppen van het drukregelvat of de VDA-ontlastingsafsluiters. De primaire kring verliest progressief zijn waterinventaris wat leidt tot de ontbloting en het smelten van de splijtstof, de relocatie van het corium naar de bodem van het reactorvat en uiteindelijk de doorboring van het reactorvat. Zonder tussenkomst van de operator duurt dit proces 2 tot 3 uur.

Volgens de ERG- en BK-procedures moet de operator bij verlies van koeling door de stoomgeneratoren de primaire kring in onderdruk brengen en zo de injectie in de primaire kring vergemakkelijken en de "feed and bleed" van de primaire kring starten. Het openen van de ontlastingskleppen van het drukregelvat resulteert in een drukverlaging van de primaire kring waardoor de inventaris van de accumulatoren passief kan worden geïnjecteerd. Deze actie kan de voortgang van het ongeval met verschillende uren vertragen. Tijdens deze periode moet de actieve uitrusting worden hersteld of moet mobiele uitrusting worden ingezet om water in de primaire te injecteren.
Om de betrouwbaarheid van de SEBIM-/PORV-MORV-ontlastingskleppen van het drukregelvat te verhogen, zal een alternatieve stroomtoevoer voor hun instrumentatie en bediening worden bestudeerd.

Voor Doel 1/2 zijn elektriciteitskabels geïnstalleerd voor de alternatieve voeding van de containmentsproeipompen (SP) met stroomgeneratoren. Op deze manier bestaat bij een open primaire kring de mogelijkheid om water via de SI-SP-aansluiting door middel van de SP-besproeiing in het reactorgebouw, naar de stilstandskoeling (SC) te voeren. Om deze actie te kunnen uitvoeren met een gesloten primaire kring, zal een manuele isolatieafsluiter op de sproeileiding worden geïnstalleerd (lopende studie).
Voor Doel 3 en 4 loopt een studie naar de installatie van externe aanzetstukken op de SP-pompen waardoor met een mobiele pomp een alternatief SP-debiet wordt bereikt dat aan de primaire kring kan worden aangepast.

<u>Primaire kring open</u>

Hier is sprake van een groot aantal configuraties van de primaire kring die sterk verschillen volgens de restwarmte en de waterinventaris van de primaire kring (met inbegrip van het volume van de bassins

van het reactorgebouw). De ongunstigste situatie is het eerste stadium van het stilleggen van een eenheid bekend als "mid-loop" of "reduced inventory". Er is sprake van een verminderde waterinventaris in de primaire kring in combinatie met een nog relatief hoge restwarmte in de kern. Na het verlies van alle elektrische voedingsbronnen warmt het water van de primaire kring in minder dan een half uur op tot kooktemperatuur gevolgd door de uitstoot van de in het containment geproduceerde stoom. Het potentiële effect van deze stoomuitstoot is een constante drukverhoging in het containment die uiteindelijk, wanneer niets wordt ondernomen om de druk in het containment te verlagen, de gravitaire suppletie naar de primaire kring verhindert.

In Doel 1/2 is de gravitaire suppletie van tank "R11" efficiënt en kan de blootlegging van de kern verschillende uren uitstellen. Bij het begin van een stilstand, wanneer de reactor slechts 1 tot 3 dagen stilgelegd is, bedraagt dit uitstel tussen 12 en 18 uur.
Voor Doel 1/2 zijn elektriciteitskabels geïnstalleerd voor de alternatieve voeding van de SP-pompen met stroomgeneratoren. Op deze manier bestaat bij een open primaire kring de mogelijkheid om water via de SI-SP-aansluiting door middel van de SP-besproeiing in het reactorgebouw, naar de stilstandskoelkring te voeren.

In Doel 3 en Doel 4 is de gravitaire suppletie van tank RWST efficiënt en kan de blootlegging van de kern verschillende uren uitstellen. Bij het begin van een stilstand wanneer de reactor slechts 1 tot 3 dagen stilgelegd is, bedraagt dit uitstel tussen 10 en 18 uur.
Voor Doel 3 en 4 loopt een studie naar de installatie van externe aanzetstukken op de SP-pompen waardoor met een mobiele pomp een alternatief SP-debiet wordt bereikt dat aan de primaire kring kan worden aangepast.

6.2.5. Adequaatheid van het huidige ongevallenbeheer en mogelijke bijkomende maatregelen

6.2.5.1. Beheerprocedures ernstige ongevallen

Kerncentrale Tihange
In de ongevallenprocedures en de SAMG-richtlijnen worden de van kracht zijnde mitigatiemaatregelen beschreven om het verlies van kernkoeling te bestrijden en de integriteit van het containment te beschermen. Deze teksten behandelen de verschillende stadia van het ongeval en houden rekening met de verschillende mogelijke initiële toestanden van de eenheden.

De noodbedrijfprocedures ("EOP") van Tihange zijn gebaseerd op de standaardprocedures van Framatome-EDF of de WOG. Vóór invoering werden deze documenten door de ontwerper aan een onafhankelijke evaluatie onderworpen.
Evenzo werden, vóór invoering tijdens de industriële inbedrijfstelling van Tihange 3, of tijdens de verandering (FROG-benadering naar WOG-benadering) voor Tihange 2 aan het einde van de jaren 80 van vorige eeuw, de specifieke procedures voor de 2^{e} niveau noodsystemen van Tihange 2 en Tihange 3 door Westinghouse geëvalueerd.

Elke procedure is gelinkt aan een bedrijfsvoorschrift (eenheid Tihange 1) of een bedrijfsbasis (Tihange 2 en Tihange 3). Deze bedrijfsbasis/dit bedrijfsvoorschrift verbindt de algemene documentatie met de voor de eenheid specifieke procedures, en beschrijft nauwkeurig de principes die aan de basis liggen van de procedure (evolutie van de parameters en rechtvaardiging van de filosofie).

De SAMG-richtlijnen voor Tihange bestaan uit een eenheidspecifieke aanpassing van de basisrichtlijnen die in 1994 door de Westinghouse Owners Group (WOG) werden uitgebracht en bij publicatie werden gevalideerd.

In het kader van periodieke veiligheidsherziening werden de eerste SAMG-richtlijnen voor Tihange en de erin ontwikkelde strategieën gevalideerd door middel van verschillende scenario's van ernstige

ongevallen. De richtlijnen waren op zichzelf staand zonder behoefte aan bijkomende besluitvormingsmiddelen. Er werden ook enkele kleine correcties en verbeteringen voorgesteld.
Bovendien werd een aantal punten aan een analyse onderworpen. Dit leidde tot kleine verbeteringen die het beheer van ernstige ongevallen zoals gepland in de huidige SAMG-richtlijnen niet in vraag stelde.

Het grote aantal beschikbare middelen om de verschillende strategieën in praktijk te brengen, is een sterk punt van de SAMG-richtlijnen voor Tihange. Om het beheer van een mogelijk ernstig ongeval te verbeteren en het gevaar van integriteitsverlies van het containment beter te controleren door langzame overdruk, werd beslist om een haalbaarheidsstudie uit te voeren voor gefilterde containment venting voor alle eenheden van Tihange.

In aanvulling op het werk dat reeds werd uitgevoerd in het kader van de periodieke veiligheidsherziening, werd beslist om de opvolging voort te zetten van internationale R&D over aantasting van de vloerplaat door de interactie van corium en beton. Deze R&D wordt verder actief opgevolgd. Gelijktijdig zal een haalbaarheidsstudie worden gestart over een bijkomende waterinjectiemethode (naast de reeds bestaande methoden). De internationale feedback over het ongeval van Fukushima, en alle nieuwe herzieningen van de SAMG's van de WOG, zullen indien nodig worden overwogen en toegepast, volgens de internationale aanbevelingen.

De invoering van nieuwe niet-conventionele middelen houdt in dat deze middelen in de ongevallenprocedures en de richtlijnen voor het beheer van ernstige ongevallen moeten worden opgenomen.

Kerncentrale Doel

In de ERG-procedures en BK-procedures worden de van kracht zijnde mitigatiemaatregelen beschreven om het verlies van kernkoeling te bestrijden en de integriteit van het containment te beschermen. Deze teksten behandelen de verschillende stadia van het ongeval en houden rekening met de verschillende mogelijke initiële toestanden van de eenheden.

Bij elke ERG-procedure voor een eenheid van Doel hoort een backgrounddocument. Dit document linkt de generieke ERG-procedures van de WOG met de specifieke ERG-procedures per eenheid. Op deze manier krijgt men inzicht in de gelijkenissen en de verschillen met de generieke ERG-procedures en kan, waar nodig, toelichting worden gegeven.

De BK-procedures voor Doel zijn geïnspireerd door de filosofie van de SAMG-richtlijnen van de Westinghouse Owners Group (WOG) aangevuld met specifieke procedures. De BK-0- en BK-1-procedures van Doel 3 en Doel 4 zijn gecontroleerd door de veiligheidsautoriteit. De procedures voor Doel 3 en Doel 4 zijn dezelfde als voor Doel 1/2. Dit betekent dat de opmerkingen van de veiligheidsautoriteit voor de 4 eenheden gelden.

De BK-procedures (en de erin ontwikkelde strategieën) werden gevalideerd tijdens de periodieke veiligheidsherzieningen voor Doel 1/2 en Doel 3 en Doel 4.

De invoering van nieuwe niet-conventionele middelen houdt inderdaad in dat deze middelen in de ongevallenprocedures en de BK-procedures moeten worden opgenomen. De nodige instructies voor het gebruik van deze niet-conventionele middelen zullen in de procedures worden geïntegreerd.

6.2.5.2. Beschikbaarheid en adequaatheid van de instrumentatie

Volgens de noodprocedures (EOP voor Tihange, ERG voor Doel) worden bij het ongevallenbeheer de postaccidentele monitoringsystemen gebruikt ("PAMS"). Deze monitoringsystemen zijn gevalideerd voor ontwerpongevalsomstandigheden. Ze verstrekken informatie die door alle andere gevalideerde systemen kan worden bevestigd.

De SAMG-richtlijnen (Tihange) en de BK-procedures (Doel) omvatten diagnostische richtlijnen die het gebruik van een beperkt aantal sleutelparameters vereisen die de verschillende strategieën weergeven en waarmee ernstige ongevallen kunnen worden aangepakt. Dit zijn:

- de temperatuur aan de uitgang van de kern;
- de druk in de primaire kring;
- het waterpeil in de stoomgeneratoren;
- de druk in het containment:
- het waterpeil in de sterfputten van het containment;
- het dosisdebiet op de site;
- de waterstofconcentratie in het containment (Kerncentrale Doel).

In de SAMG-richtlijnen voor Tihange is geen monitoring van de waterstofconcentratie voorzien, aangezien autocatalytische recombinatoren de gemiddelde concentratie in het containment beperken tot minder dan 5 %.

De implementatiestrategie in de SAMG-richtlijnen en de BK-procedures heeft onder andere tot doel om bij ernstige ongevallen het risico van schade aan de uitrusting en de instrumentatie te minimaliseren.

Op internationaal niveau wordt de generieke SAMG-benadering van de WOG als adequaat beschouwd voor de behoeften en mogelijkheden van de instrumentatie. Omdat:

- de uitgevoerde analysen hebben aangetoond dat de instrumentatie die conservatief is gekwalificeerd voor ontwerpongevallen bedrijfsklaar kan blijven bij een ernstig ongeval, omdat de nauwkeurigheidseisen lager zijn;
- de redundantie en de bestaande alternatieve metingen om de nodige informatie te verkrijgen over de sleutelparameters de mogelijkheden van de bestaande instrumentatie versterkt;
- blijkt dat een exact beeld van het ongeval en zijn verloop niet noodzakelijk is en omdat een beperkt aantal sleutelparameters volstaat voor het correcte beheer van een ernstig ongeval.

Een studie over het gebruik van de instrumentatie bij het beheer van ernstige ongevallen dat in de jaren 90 van vorige eeuw door het CSNI (Committee on the Safety of Nuclear Installations) werd uitgevoerd toonde deze adequaatheid aan. Dit werk citeert de benadering in de SAMG-richtlijnen voor Tihange als een voorbeeld.
Deze benadering werd ook gevalideerd op Belgisch niveau tijdens de periodieke veiligheidsherziening.

De internationale feedback over instrumentatie na het ongeval in Fukushima en herzieningen van de benadering in de SAMG-richtlijnen van de WOG hieromtrent, zullen worden onderzocht en geïmplementeerd, in lijn met de WOG en internationale aanbevelingen.
De controle van de waterstofconcentraties in de reactorgebouwen zal in de SAMG-richtlijnen voor Tihange worden opgenomen, om zeker te zijn dat er geen gevaar bestaat door de aanwezigheid van waterstof in de gebouwen.

6.2.5.3. Beschikbaarheid en bewoonbaarheid van de controlezaal

Kerncentrale Tihange

Voor de drie eenheden wordt de ventilatie en de airconditioning van de hoofdcontrolezaal en de COT door het CSC-systeem geregeld (twee vitale redundante treinen). Deze ventilatie-/airconditioningkring dekt de controlezalen en enkele zalen in het gebouw van de elektrische hulpdiensten (BAE).

Dit systeem heeft tot doel:

- de omgevingsomstandigheden binnen de bepaalde grenzen te houden, het comfort van de bewoners en de goede werking van de uitrusting te garanderen;
- de bewoonbaarheid van de controlezaal en de COT-zones te garanderen door ze te isoleren bij ongevallen zoals radioactieve besmetting van de site, of de uitstoot van dampen of toxische/explosieve gassen op de site.

Het systeem bestaat hoofdzakelijk uit twee redundante airconditioningeenheden met gemeenschappelijke ondersteuning: één kan als noodeenheid worden gebruikt bij falen van de andere. Absoluutfilters en actievekoolfilters worden in de ventilatiekanalen op de externe luchtaanzuiging gemonteerd. Er worden ook identieke batterijen geplaatst voor het intern filteren van de controlezaal en de COT.

Bij radioactieve besmetting op de site wordt de overgang naar de configuratie "geïsoleerde controlezaal en COT" veroorzaakt door het veiligheidsinjectiesignaal (voor Tihange 2 en Tihange 3) of door het signaal "hoge radioactiviteit aan externe luchtaanzuiging plenum" (voor de drie eenheden). In dit geval schakelt de atmosfeer van deze zones over naar recirculatiemodus zonder aanzuiging van ongefilterde externe lucht.
Een tijdelijke suppletie van gefilterde lucht zorgt voor het onder druk houden en de luchtverversing van de controlezaal en de COT.

Het ontwerp van de verschillende filterbanken laat 720 uur ononderbroken bedrijf toe onder de omstandigheden van het ontwerpongeval (ongeval door verlies van primair koelmiddel met gesloten containment). Bij volledige SBO wordt de ventilatie stopgezet en de uitrusting schakelt over naar de veilige stand (isolatie van de controlezaal en de COT). De operatoren kunnen indien nodig bij de eropvolgende handelingen een filtermasker gebruiken. In de eenheden zijn maskers met geschikte filterpatronen (stof, jodium) en autonome persluchtmaskers beschikbaar. De beschikbare aantallen volstaan bij aan ongeval met radiologische gevolgen.

Naast de hoofdcontrolezaal beschikken Tihange 2 en Tihange 3 over een noodcontrolezaal (BUS) waar de ventilatie-/airconditioningkringen bestaan uit drie op zichzelf staande systemen.
Bij een ongeval buiten de site dat een lek van radioactieve producten of besmetting van de site door toxische of explosieve gassen, roken of dampen veroorzaakt, garandeert dit systeem de bewoonbaarheid van de controlezaal en isoleert een of meer luchtaanvoeren.
In geval van een explosie buiten het gebouw beschermt het de uitrusting tegen de drukgolf. Bij brand beperkt het de verspreiding van vuur en rook.

Om de operatoren te beschermen tegen radioactief jodium worden op verschillende plaatsen op de site tabletten stabiel jodium verstrekt (verzamelpunten, bedrijfskamers van elke eenheid, de lokalen van de eerstehulpteams, medische afdeling).

Bij een ernstig ongeval met beschadiging van de kern in combinatie met SBO, gaat de controlezaal verloren. De bewoonbaarheidsomstandigheden zullen worden gecontroleerd door het noodteam om de strikte naleving van de dosislimieten en de geschiktheid van de systemen te garanderen die zijn geïmplementeerd om de dosisopname te beperken. De rotatie van de operatoren beperkt de individuele dosissen. Het herstellen van de controlezaalventilatie is prioritair om de dosissen te beperken waaraan de operatoren worden blootgesteld.

Kerncentrale Doel

Het ventilatiesysteem (VP) in de hoofdcontrolezaal van Doel 1/2 bestaat uit een of twee ventilatoren, elk met 100 % capaciteit. De lucht wordt gekoeld met CF en ververst via een injectieventilator. De controlezaal beschikt ook over vier afzonderlijke en autonome luchtkoelersets (4 x 50 %).

Bij een intern ongeval isoleert de ventilatie onmiddellijk. De veiligheidsventilatoren (2 x 100 %) met hun filterbanken (voorfilter, absoluutfilter, actievekoolfilter) treden op dat ogenblik in werking. Ze worden gevoed door de veiligheidsdiesels. De filterbatterijen hebben een stand-byvermogen van 720 uur.

Bij problemen in een naburige installatie isoleert de ventilatie automatisch wanneer ioniserende straling wordt gedetecteerd. De toegangsdeuren worden dicht gehouden om besmetting te voorkomen. De operatoren kunnen de ventilatie ook manueel afsluiten van de buitenlucht.

Indien noodzakelijk door de bewoonbaarheid van de hoofdcontrolezaal, heeft het personeel van de controlezaal van Doel 1/2 de mogelijkheid om te verhuizen naar een noodcontrolezaal. De interne

ventilatie van deze noodcontrolezaal wordt gevoed door het GNS-systeem. Bij detectie van toxische gassen wordt de luchtaanzuiging afgesloten. Er zijn geen filters aanwezig om radioactieve deeltjes of radioactief jodium te vangen.

Het ventilatiesysteem (VP) in de hoofdcontrolezaal van Doel 3/4 bestaat uit een of twee ventilatoren (elk 100 %). Bij een intern ongeval isoleert de ventilatie onmiddellijk. Op dat ogenblik wordt de luchtaanvoer en de normale interne recirculatie afgesloten. De veiligheidsventilatoren (2 x 100 %) met hun filterbanken (voorfilter, absoluutfilter, actievekoolfilter) treden op dat ogenblik in werking samen met het warmteafvoersysteem CD/CF. Deze kring wordt redundant opgezet en wordt gevoed door veiligheidsdiesels.

Indien noodzakelijk door problemen met de bewoonbaarheid van de hoofdcontrolezaal, heeft het personeel van de controlezaal van Doel 3 en Doel 4 de mogelijkheid om te verhuizen naar een noodcontrolezaal. De interne ventilatie wordt gevoed door de BKR-kring. Bij detectie van toxische gassen wordt de luchtaanzuiging afgesloten. Er zijn geen filters aanwezig om radioactieve deeltjes of radioactief jodium te vangen.

Er zijn voldoende filtermaskers met hun geschikte patronen (voor klassieke verontreinigende stoffen, stof en jodium) en voldoende zuurstofmakers beschikbaar op verschillende plaatsen op de site. Een specifieke procedure beschrijft hoe de zuurstofflessen moeten worden bijgevuld. Naargelang de omgevingslucht al dan niet radioactief besmet is, brengt een pendeldienst de zuurstofflessen naar Kieldrecht of Kallo om ze bij te vullen.

In de controlezalen, de noodcontrolezalen, aan de ingang van de gecontroleerde zones, in de noodplankamers en de interventievoertuigen zijn voldoende kaliumjodidetabletten aanwezig om het personeel effectief te beschermen.

De dosis waaraan het personeel wordt blootgesteld wordt opgevolgd. De wettelijke dosislimieten worden niet overschreden. Personeelsrotatie is voorzien.

Er zijn ook persoonlijke beschermingsmiddelen aanwezig tegen andere vormen van besmetting. Wanneer de batterijen van de noodverlichting leeg zijn kunnen zaklantaarns en helmlichten worden gebruikt.

6.3. Ongevallenbeheermaatregelen om de integriteit van het containment te handhaven na beschadiging van de kern

6.3.1. Beheer van waterstofrisico's in het containment

Ten gevolge van de oxidatie van de zirkoniumbekleding in de reactorkern of de interactie tussen corium en beton na defect van het reactorvat kunnen aanzienlijke hoeveelheden waterstof worden geproduceerd en hun weg vinden naar het containment.

De reactorgebouwen van alle eenheden van Doel en Tihange zijn uitgerust met passieve autocatalytische recombinatoren (PAR) in verschillende compartimenten van het containment. Deze toestellen zijn ontworpen om de gemiddelde waterstofconcentratie onder 5 % te houden om een detonatie te voorkomen die de integriteit van het containment in gevaar zou kunnen brengen. Bovendien is de actieve zone van het autocatalytische oppervlak groter dan nodig en biedt een veiligheidsmarge van 20 %. Daarenboven laat het gebruik van de thermische recombinator die op de site aanwezig is toe om de hoeveelheid waterstof in het containment verder te beperken.

Waterstof kan zich via verschillende lekpaden van het containment naar een aangrenzend gebouw verplaatsen:

- een bypass van het containment ten gevolge van een ongevalssequentie (breuk van de buizen van de stoomgenerator, ISLOCA (interfacing systems loss of coolant accident));
- het normale lekgehalte (ontwerplek) van het containment;
- een defect van de isolatie van het containment;
- een breuk of structurele lek van het containment door een ernstig ongeval.

De impact van een potentiële waterstofaccumulatie in de aangrenzende gebouwen op de adequaatheid van de bestaande maatregelen voor het beheer van ernstige ongevallen is beperkt door:

- sommige in de ontwerpfase aangenomen maatregelen, de toepassing van ongevallenprocedures en richtlijnen voor het beheer van ernstige ongevallen, die een minimale impact van de waterstoflekken op het verdere verloop van een ernstig ongeval garanderen;
- de beschikbaarheid van PAR's die de waterstofconcentratie in het containment beperken en bijgevolg de hoeveelheid waterstof die zich in de aangrenzende gebouwen kan verspreiden.

De in de ongevallenprocedures aanbevolen acties bestaan uit het identificeren van een mogelijk ISLOCA en het isoleren ervan om transferts naar het gebouw van de nucleaire hulpdiensten of de tussenruimte te voorkomen. De SAMG's benadrukken het belang van de acties die gericht zijn op het isoleren van het containment en beschouwen deze acties een prioriteit.

De bestaande procedures en specifieke ontwerpmaatregelen, met inbegrip van de invoering van de PAR's die de waterstofconcentratie in het containment beperken, vormen een stevige basis om de waterstofaccumulatie in een met het containment verbonden gebouw te minimaliseren. In het kader van de periodieke veiligheidsherziening zijn maatregelen genomen om de SAMG's te vervolledigen, vooral wat betreft de detectie van radioactieve producten (en bijgevolg waterstof) via potentiële lekpaden. Deze maatregelen worden ingevoerd.

In het geval dat het quenchen van het corium niet leidt tot een koelbare geometrie van het corium, kan een interactie tussen corium en beton optreden. In dergelijk scenario kan, hoewel zeer onwaarschijnlijk, de accumulatie van waterstof in de tussenruimte (Doel 1/2) of in het GNS (Doel 3 en Doel 4) na een ongefilterde ontluchting van het containment niet worden uitgesloten. In dit geval biedt de installatie van een gefilterde containment venting een mogelijke oplossing.

6.3.2. Voorkomen van overdruk in het containment

Om overdruk in het containment te voorkomen, moet de druk in de primaire kring worden verlaagd in de eerste plaats om de veiligheidsinjectie bij lage druk te vergemakkelijken en, in de tweede plaats om het fenomeen van directe containmentverhitting na de verspreiding van het corium en plotse drukverhoging na de uitstoot van aanzienlijke hoeveelheden van het hogedrukwater en stoom in de primaire kring te verminderen of zelfs te voorkomen. Deze twee fenomenen kunnen leiden tot overdruk in het containment.

De strategie bestaat erin om met behulp van volgende methoden de druk in de primaire kring te verlagen:

- het afkoelen en de drukverlaging van de secundaire kring via een bypass naar de condensor of naar de atmosfeer;
- directe drukverlaging van de primaire kring door hulp-/noodbesproeiing van het drukregelvat of openen van de ontlastingskleppen van het drukregelvat.

Wanneer de druk in het containment op lange termijn niet meer overeenstemt met een stabiele en gecontroleerde toestand, bestaat de hoofdstrategie uit het verlagen van de containmentdruk met behulp van:

- de containmentsproeipompen;
- de lagedrukveiligheidsinjectiepompen, na verbinding van de lagedrukinjectieleidingen met de containmentsproeikringleidingen.

Voor de eenheden van Tihange en Doel 3 en Doel 4 zal, voor een grotere diversificatie van de sproeifunctie van het containment, een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd naar de toevoeging van een externe flensverbinding om een alternatief sproeidebiet te bereiken met een mobiele sproeipomp.
Voor Doel 1/2 zijn elektriciteitskabels geïnstalleerd voor de alternatieve voeding van de SP-pompen met stroomgeneratoren.

Na een breuk van het reactorvat en de potentiële eropvolgende interacties tussen corium en beton kunnen niet-condenseerbare gassen worden geproduceerd die dan de druk in het containment zouden verhogen. De hierboven vermelde methoden werken niet met niet-condenseerbare gassen. Koolmonoxide wordt echter gerecombineerd met de waterstofrecombinatoren.

Er zal een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd naar de installatie van een gefilterde containment venting om het probleem van overdruk in het containment efficiënter aan te pakken. Deze gefilterde containment venting zal de ultieme maatregel zijn om de druk in het containment te verlagen, die alleen zal worden toegepast om schade aan het containment te voorkomen, mochten alle andere preventieve maatregelen niet in staat zijn om de druk te verlagen.

6.3.3. Vermijden van herkritikaliteit

Kerncentrale Tihange

De site heeft aanzienlijke voorraden boorzuur, zodat de toevlucht tot water dat onvoldoende of niet-boorhoudend is, kan worden vermeden. Wanneer in de "B01Bi"- of "CTP"-tanks de boorwaterinventaris uitgeput geraakt, worden de tanks bijgevuld met water met de juiste kenmerken.

Herkritikaliteit door het gebruik van onvoldoende of niet -boorhoudend water in de primaire kring is echter op een generieke en conservatieve manier bestudeerd. Op deze basis staan de door de WOG gepubliceerde generieke SAMG-richtlijnen uiteindelijk de injectie toe van onvoldoende of niet-boorhoudend water in de primaire kring. Dergelijk gebruik van niet-boorhoudend water is onderworpen aan een voorafgaande evaluatie door het noodmanagementteam en strenge gebruiksbeperkingen. In het kader van uiteenlopende studies die door de WOG werden gestart in de

nasleep van het ongeval in Fukishima, zullen analyses uitgevoerd worden over de suppletie met boorwater/niet-boorhoudend water. De conclusies zullen worden opgenomen in de toekomstige ontwikkelingen van de SAMG-richtlijnen.

De boorwaterbronnen worden geïnjecteerd met een minimaal debiet dat volstaat om een correcte kernkoeling te bereiken en een minimaal boorzuurverbruik te garanderen.

Kerncentrale Doel

Vóór doorboring van het reactorvat mag uitsluitend boorwater in het reactorvat worden geïnjecteerd.
Na doorboring van het reactorvat is het belangrijk om terugkerende kritikaliteit van de kernreactor te voorkomen. Om dit te voorkomen zal - bij een tekort aan boorwater - zuiver water (zonder boorzuur) alleen in beperkte mate in het reactorgebouw worden geïnjecteerd.

6.3.4. Voorkomen van basemat melt through

De preventieve, algemene strategie bestaat erin een breuk van het reactorvat te voorkomen. Dit impliceert het injecteren van water in de primaire kring met behulp van de volgende methoden:

- de hogedrukveiligheidsinjectiepompen,
- de lagedrukveiligheidsinjectiepompen,
- de noodinjectiepompen,
- de sproeipompen van het containment, na aansluiting van de lagedrukinjectieleidingen aan de containmentsproeisysteemleidingen,
- de alternatieve injectiesystemen: de boorzuurpompen en het ontluchte water van het chemische en volumetrische controlesysteem, de primaire pompen.

Kerncentrale Tihange

Voor de eenheden van Tihange bestaat de hoofdstrategie om een bres in de vloer (basemat) na een breuk in het reactorvat te voorkomen er in de eerste plaats uit om de reactorput droog te houden zodat het corium zich over de vloer kan uitspreiden en het risico van een stoomexplosie wordt voorkomen en, vervolgens, het injecteren van water in de reactorput met behulp van de eerder beschreven methoden. Uiteindelijk zal door de breuk in het reactorvat het in de primaire kring geïnjecteerde water de reactorput bereiken.

Er zal een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd over de toepassing van een bijkomende methode om water in de reactorput te injecteren (naast de bestaande).

Kerncentrale Doel

Voor de eenheden van Doel wordt, om een bres in de vloer te voorkomen na de breuk van het reactorvat, als preventieve maatregel de reactorput onder water gezet (vóór de breuk van het reactorvat) door het gravitair vullen vanuit de RWST en het openen van de recirculatiekleppen.

Na doorboring van het reactorvat kan het water op twee manieren in de reactorput worden geïnjecteerd:

- injecteren in de primaire kring met behulp van de hierboven vermelde injectie-uitrusting via de doorboring van het reactorvat;
- sproeien in het reactorgebouw; het geïnjecteerde water bereikt de reactorput via de aansluitingen tussen de reactorsterfputten en de reactorputten.

De R&D inzake de interactie tussen corium en beton zullen nauwgezet worden opgevolgd.

6.3.5. Behoefte aan en toevoer van gelijk- en wisselstoom en perslucht naar de uitrusting ter bescherming van de integriteit van het containment

Kerncentrale Tihange

Tihange 1

Van de middelen geïdentificeerd voor de invoering van de bovengenoemde strategieën, zullen de pompen van de volgende kringen door veiligheidsdiesels worden aangedreven: veiligheidsvoedingswatersysteem, veiligheidsinjectiesysteem, containmentsproeisysteem, chemisch en volumetrisch controlesysteem, grondwatersysteem en persluchtsysteem.
De instrumentatie en bediening worden ondersteund door batterijen en door nooddiesels via gelijkrichters.

De werking van de kleppen van de hulpsproeileiding van het drukregelvat en die van de bypass naar de condensor en de atmosfeer, en de extractie van het chemische en volumetrische controlesysteem, vereisen geen wisselstroom en hun bediening wordt ondersteund door batterijen en de veiligheidsdiesels via gelijkrichters. De SEBIM-kleptandems van het drukregelvat maken gebruik van gelijkstroom ondersteund door batterijen en de veiligheidsdiesels via gelijkrichters.

Tihange 2 en Tihange 3

Van de middelen geïdentificeerd voor de invoering van de bovengenoemde strategieën, zullen de pompen van de volgende kringen door de veiligheidsdiesels worden aangedreven: veiligheidsvoedingswatersysteem, veiligheidsinjectiesysteem, containmentsproeisysteem, chemisch en volumetrisch controlesysteem, boorwatersysteem en persluchtsysteem.

De ultieme noodpompen worden aangedreven door de 2^{e} niveau nooddiesels.

De instrumentatie en bediening worden ondersteund door batterijen en de veiligheidsdiesels via gelijkrichters. De extractie van het chemische en volumetrische controlesysteem wordt ondersteund door twee veiligheidsniveaus.

De werking van de ontlastingskleppen, de hulp- en noodsproeileiding van het drukregelvat, en de bypass naar de condensor en de atmosfeer vereisen geen wisselstroom en hun bediening wordt ondersteund door batterijen en de veiligheidsdiesels via gelijkrichters. De noodsproeikleppen van het drukregelvat worden ondersteund door het tweede niveau. De PORV's moeten met perslucht worden bijgevuld.

De elektrische voedingen van de twee veiligheidsniveaus van de eenheden kunnen worden verbonden als gemeenschappelijke ondersteuning bij defect. Er zal een procedure worden opgesteld om deze manipulatie te integreren. Ze omvat de opslag van kabels om verbindingen aan te leggen tussen de verschillende elektrische panelen.

Om de betrouwbaarste voeding te verkrijgen voor de instrumentatie zal voor de drie eenheden een alternatief met autonome diesels worden bestudeerd.

Kerncentrale Doel

De BK-procedure BK-3 beschrijft de elektrische voeding van de uitrusting die nodig is om de integriteit van het containment te beschermen. In dezelfde procedure worden alternatieve elektrische voedingssystemen voorgesteld.
In de volgende kringen worden de pompen aangedreven door de veiligheids- of nooddiesels:

- het hulpvoedingswatersysteem;
- het noodvoedingswatersysteem;

- het veiligheidsinjectiesysteem;
- het noodsuppletiewatersysteem van de primaire kring (Doel 3 en Doel 4);
- de noodkoelkring van de dichting van de primaire pompen;
- het ladingssysteem;
- het containmentsproeisysteem.

De pompen zullen worden bediend door batterijen en nooddiesels. De ontlastingskleppen van de stoomgeneratoren - naar de condensor en de atmosfeer - hebben geen wisselstroom nodig. De ultieme besproeiing van het drukregelvat, de koeling van de ventilatiebatterijen en de ventilatoren worden gevoed door de veiligheids- en nooddiesels.

De SEBIM's van het drukregelvat (Doel 1/2) hebben gelijkstroom nodig, geleverd door batterijen met diesels als noodvoeding. De PORV's (Doel 3 en Doel 4) hebben gelijkstroom en perslucht nodig. De MORV's (Doel 3 en Doel 4) hebben gelijkstroom en 380 V nodig.

Een alternatieve voeding van de IAK-compressoren zal worden geleverd via het back-upnet van 380 V. De voeding van de PORV's/MORV's en SEBIM's zal ook worden geleverd via het back-upnet van 380 V.

6.3.6. Cliff-edge-effecten en timing

De reactorgebouwen van Doel en Tihange zijn van het type "groot droog containment". Het grote volume dat beschikbaar is voor de expansie van gassen laat in de eerste plaats toe om de drukregeling te beperken na de lozing van water, stoom en niet-condenseerbaar gas in het reactorgebouw.

Het primaire containment van de eenheden van Tihange bestaat uit een voorgespannen betonnen cilinder waarvan het binnenoppervlak bekleed is met een lekdichte liner. Het stalen bolvormige primaire containment van Doel 1/2 heeft een aanzienlijke mechanische sterkte. Het primaire containment van Doel 3 en Doel 4 bestaat uit een cilinder in voorgespannen beton waarvan het binnenoppervlak bekleed is met een lekdichte liner.

De volgende tabel geeft een overzicht van de kenmerken van de reactorgebouwen waarmee rekening is gehouden voor de integriteitsstudie van het containment bij ongevallen die niet in het ontwerp zijn voorzien. De bezwijkdruk is de druk bij dewelke aanzienlijke lekken waarschijnlijk worden het toegangsluik van de uitrusting. Desondanks resulteert een overschrijding van de bezwijkdruk niet in het totale verlies van het containment.

Tabel 15: Kenmerken van de reactorgebouwen van Tihange

	Tihange 1	**Tihange 2**	**Tihange 3**
Ontwerpdruk [bar abs]	4.1	4.5	4.5
Bezwijkdruk [bar abs]	> 6	> 6	> 6
Vrij volume [m^3]	68 446	67 856	71 812
Vloerdikte [m]	2.15	2.64	2.64
Aantal PAR's [-]	37	38	40
Oppervlakte PAR's [m^2]	376	329	396

Tabel 16: Kenmerken van de reactorgebouwen van Doel

	Doel 1/2	Doel 3	Doel 4
Ontwerpdruk [bar abs]	3.86	4.5	4.7
Bezwijkdruk [bar abs]	8	> 6	> 6
Vrij volume [m^3]	42 828	60 758	60 302
Vloerdikte [m]	2.45 + 1.4	3.25	3.45
Aantal PAR's [-]	24	40	37
Oppervlakte PAR's [m^2]	227	306	336

De koel-/drukverlagingskring van het reactorgebouw omvat een groot aantal containmentsproeipompen - waardoor werking in directe sproeimodus of in recirculatiemodus mogelijk is - waaraan de lagedrukveiligheidsinjectiepompen zijn toegevoegd om bij verschillende defecten deze koelfunctie over te nemen.

De mogelijke faalmodi van het reactorgebouw na een bres in het reactorvat worden hierna vermeld.

a) Bypass van het reactorgebouw ter hoogte van een penetratie
Dit zou het gevolg zijn van een gebeurtenis die niet in het ontwerp is voorzien. Alle penetraties in het reactorgebouw zijn uitgerust met twee redundante isoleertoestellen waarvan de isoleerafsluiters automatisch sluiten bij verlies van controle. In de meeste gevallen kan de operator, nadat hij het lek heeft vastgesteld, bijkomende afsluiters bedienen om de leiding in kwestie te isoleren. Dergelijke lekken, vrij onwaarschijnlijk maar toch moeilijk uit te sluiten, kunnen gemakkelijk worden geïsoleerd.

b) Geïnduceerde breuk van een stoomgeneratorpijp
Een geïnduceerde breuk van een stoomgeneratorpijp kan de eerste uren na een kernsmelting, vóór de bres in het reactorvat, een bypass van het containment vormen. Dergelijk defect kan gewoonlijk worden vermeden aangezien de breuk in de primaire kring door kruipen waarschijnlijker is aan het warm been.
Een breuk van de stoomgeneratorpijpen kan optreden bij een hoge druk in de primaire kring in combinatie met drukloze en droge stoomgeneratoren aan de kant van de secundaire kring. De SAMG's identificeren talrijke methoden om dit fenomeen te verhelpen: de druk in de primaire kring verlagen, de stoomgeneratoren isoleren en/of bijvullen.

c) Waterstofexplosie
Tijdens een kernsmelting wordt door de oxidatie van de splijtstofhuls waterstof gevormd. De accumulatie van dit gas in het containment kan een explosie veroorzaken.
Om dit te voorkomen zijn de reactorgebouwen uitgerust met passieve autocatalytische recombinatoren (PAR's) in de verschillende compartimenten van het containment. Zodra de waterstofconcentratie 2 % van het volume in het containment bereikt (d.w.z. ruim vóór de explosiedrempel wordt bereikt), treden deze recombinatoren in werking en verlagen de waterstof- en koolmonoxideconcentratie. De PAR's verminderen ook het risico van waterstofexplosie op lange termijn, d.w.z. na breuk van het reactorvat.
De thermische recombinator helpt ook op lange termijn de waterstofconcentratie in de reactorgebouwen te beperken.

d) Andere faalmodi

In het zeer hypothetische geval waarbij alle waterinjectiemiddelen in de primaire en secundaire kring het laten afweten, kan de eerste uren de kern smelten en na verschillende uren een faling van het reactorvat ontstaan.

In deze fase kunnen de volgende fenomenen de integriteit van het containment in twijfel trekken:

- verspreiding van corium in het reactorgebouw ("high pressure melt ejection"), die leidt tot een plotse opwarming van de lucht in het reactorgebouw ("direct containment heating");
- drukverhoging door lozing van aanzienlijke hoeveelheden water en stoom uit de primaire kring in het reactorgebouw
- drukverhoging door een stoomexplosie na contact van het corium met het water in de reactorput.

De eerste twee fenomenen kunnen worden beperkt of zelfs worden vermeden, door, vóór de bres in het reactorvat ontstaat, de druk van de primaire kring te verlagen, vooral via de ontlastingskleppen van het drukregelvat.

In de veronderstelling van dat de reactorput volledig onder water staat (bv. ten gevolge van het lek/bres in de primaire kring die in de reactorput eindigt), kan na de snelle fragmentatie van het corium in het water, een stoomexplosie optreden en het containment beschadigen. Toch is een stoomexplosie onwaarschijnlijk volgens experimenten die werden uitgevoerd als onderdeel van verschillende onderzoeksprogramma's die niet in staat waren die fenomeen te creëren.

Op lange termijn zijn in Doel en Tihange twee faalmodi van het containment mogelijk: Enerzijds het doorsmelten van de vloerplaat (basemat melt through), en anderzijds het onder druk komen van het reactorgebouw door de stoomproductie ten gevolge van de afvoering van restwarmte en/of de productie van niet-condenseerbare gassen door interacties tussen het corium en het beton.

Voor de eenheden van Tihange is, in de meeste gevallen, de reactorput droog bij het ontstaan van de bres in het reactorvat (zoals aanbevolen in de SAMG-richtlijnen). Zonder extra water via de primaire kring zijn interacties tussen corium en beton onvermijdelijk. Op basis van conservatieve schattingen zou de bres in de vloer in droge omstandigheden verschillende dagen na de bres in het reactorvat ontstaan.

Niettemin blijkt uit prototype-experimenten van interacties tussen corium en kalksteenbeton (zoals aanwezig in Tihange) dat het corium met water kan worden afgekoeld nadat de aanval op het beton is begonnen. De uitgestoten stoom zal dan langzaam de druk in het containment verhogen. Zelfs in extreem verslechterde configuraties is de beschikbare tijd vóór de bres in de vloer ontstaat, meer dan voldoende om de geschikte aansluitingen te maken om water, via injectie in de primaire kring, in de reactorput te brengen. Er zal een haalbaarheidsstudie worden gestart naar de implementatie van een bijkomende waterinjectie in de reactorput van Tihange.

Omdat voor de eenheden van Doel de reactorput waarschijnlijk onder water zal staan op het ogenblik dat de bres in het reactorvat ontstaat, zal het corium gequenched worden en defragmenteren waardoor het door het omringende water ook sneller wordt afgekoeld. Wanneer dit slechts gedeeltelijk het geval is of wanneer te weinig koelwater kan worden toegevoegd, is het niet uitgesloten dat de betonvloer van de reactorput wordt aangetast door de interacties tussen corium en beton. Dit proces zal evenwel langzamer verlopen dan de drukverhoging in het reactorgebouw veroorzaakt door de stoomontwikkeling door de afvoering van restwarmte. Zonder toevoeging van koelwater aan de reactorput zal de vloer naar schatting na meer dan 5 dagen doorsmelten (waarde voor Doel 3).

De restwarmte die in het reactorgebouw vrijkomt in de vorm van stoom kan op middellange termijn worden aangepakt door het sproeien van koud water en/of op lange termijn via de koelkring met een warmtewisselaar (containmentsproeisysteem en/of veiligheidsinjectiekring in recirculatiemodus). Indien dergelijke koeling niet wordt bereikt, zou de ontwerpdruk van de reactorgebouwen, in dit geval, binnen 40 tot 48 uur na het verlies van alle koudebronnen kunnen worden bereikt. Dezelfde schattingen gelden voor een ultieme bezwijkdruk die na een periode van 3 tot 4 dagen wordt bereikt.

Er zal een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd naar de montage van een gefilterde containment venting om het probleem van overdruk in het containment beter het hoofd te kunnen bieden en het verlies van het containment door een defect van het containment te voorkomen wanneer alle andere preventieve maatregelen er niet in geslaagd zijn om de druk te verlagen.

Voor de eenheden van Tihange en Doel 3 en Doel 4 zal, voor een grotere diversificatie van de sproeifunctie van het containment, een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd naar de toevoeging van een externe flensverbinding om een alternatief sproeidebiet te bereiken met een mobiele sproeipomp.
Voor Doel 1/2 zijn elektriciteitskabels geïnstalleerd voor de alternatieve voeding van de SP-pompen met stroomgeneratoren.

6.3.7. Huidige ongevallenbeheermaatregelen voor het herstel van een stabiele en gecontroleerde toestand

In een aantal gevallen kunnen de omvang en de combinatie van de externe bedreigingen waarmee in deze context rekening wordt gehouden, leiden tot ongevallen die niet in het ontwerp zijn voorzien tijdens dewelke essentiële veiligheidsfuncties verloren gaan. Het hoofddoel van de reeds beschreven ongevallenbeheerstrategieën is het vermijden van het verlies van veiligheidsfuncties en, wanneer dit niet mogelijk is, de gevolgen van dergelijke verliezen tot een minimum te herleiden. Bij verlies van veiligheidsfuncties is de strategie gericht op het herstel van een stabiele en gecontroleerde toestand, door ervoor te zorgen:

- dat de lozingen in de omgeving verwaarloosbaar zijn;
- dat de druk en de temperatuur in het reactorgebouw genormaliseerd en stabiel zijn;
- dat de kern wordt gekoeld en de restenergie wordt geëvacueerd.

De configuratie voor de kernkoeling kan variëren afhankelijk van de oorspronkelijke toestand van de centrale, het verloop van het ongeval en de beschikbaarheid van de uitrusting om de restwarmte af te voeren. Op korte en middellange termijn is warmteafvoer door koken in de primaire kring of in de reactorput bij een breuk van het reactorvat mogelijk, op voorwaarde dat de watertoevoer volstaat om de verdamping en condensatie en de stoomlozing in het reactorgebouw te compenseren.
Op lange termijn is een configuratie met gesloten koellus noodzakelijk om de watersuppletie naar de sterfput te stoppen. Anders zal de containmentbesproeiing in de reactor en/of de injectie in de primaire kring het waterpeil in de sterfput verhogen, waardoor veiligheidsuitrusting en uiteindelijk ook de integriteit van het reactorgebouw verloren gaan.

6.3.8. Overzicht van de strategieën en middelen om ongevallen te beheren

Tabel 17: Strategie en middelen voor het beheer van ernstige ongevallen in de kerncentrale Tihange

<table>
<tr><th>Strategie</th><th>Doelstellingen</th><th>Middelen</th><th>Voedingen</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Injectie van water in de stoomgeneratoren</td><td rowspan="4">De restwarmte afvoeren en de breuk van het reactorvat voorkomen</td><td>Normale voedingswaterpompen</td><td rowspan="2">Wisselstroomvoeding wordt niet ondersteund</td></tr>
<tr><td>Waterextractiepompen</td></tr>
<tr><td>Ruwwaterpompen</td><td rowspan="2">Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door de primaire "GDS"-diesels</td></tr>
<tr><td>Veiligheidsvoedingswaterpompen (Tihange 1)

Hulpvoedingswaterpompen (Tihange 2 en 3)</td></tr>
</table>

		Noodvoedingswaterpompen (Tihange 2 en Tihange 3)	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door de secundaire "GDU"-diesels
Drukverlaging van de primaire kring	Het aantal waterbronnen maximaliseren dat de primaire kring kan voeden	Stoomgeneratorontlastingskleppen (bypass) naar de condenser	Wisselstroomvoeding is niet vereist
		Stoomgeneratorontlastingskleppen (bypass) naar de atmosfeer	
		Hulpbesproeiing van het drukregelvat	
		SEBIM-kleppen (Tihange 1) Ontlastingskleppen van het drukregelvat (Tihange 2 en Tihange 3)	Gelijkstroomvoeding is vereist in Tihange 1 en wordt ondersteund door batterijen en GDS-diesels Wisselstroomvoeding is niet vereist voor ontlastingskleppen in Tihange 2 en Tihange 3
		Extractie van chemische en volumetrische controlekring ("CCV")	Voeding is niet vereist in Tihange 1 Voeding wordt ondersteund door de primaire en secundaire niveaus in Tihange 2 en Tihange 3
		Noodbesproeiing van het drukregelvat in Tihange 2 en Tihange 3 via de noodinjectiekring	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door de "GDU"-diesels
Injectie van water in de primaire kring	De in de kern geaccumuleerde energie afvoeren	Lagedrukveiligheidsinjectiepompen	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door de "GDS"-diesels
	Een middel voorzien om de kern af te koelen	Hogedrukveiligheidsinjectiepompen	
	Een breuk in het reactorvat voorkomen of uitstellen	Containmentsproeipompen aangesloten op het veiligheidsinjectiesysteem	
		Pompen van de "CCV"-kring laden	
		Boorzuurpompen	
		Pompen voor ontlucht gedemineraliseerd water	
		Noodinjectiepompen (Tihange 2 en Tihange 3)	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door de "GDU"-diesels
		Primaire pompen	Wisselstroomvoeding wordt niet ondersteund
Injectie van water in het containment	Voldoende NPSH garanderen voor recirculatie	Containmentsproeipompen	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door de "GDS" diesels
		Lagedrukveiligheidsinjectiepompen aangesloten aan de containmentsproeikring	
Injectie van water in de reactorput	De kernfragmenten in de reactorput afkoelen	Lagedrukveiligheidsinjectiepompen	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door de "GDS" diesels
	De in het reactorvat achtergebleven kernfragmenten afkoelen	Hogedrukveiligheidsinjectiepompen	
		Containmentsproeipompen aangesloten op het veiligheidsinjectiesysteem	

		Boorzuurpompen	
		Pompen voor ontlucht gedemineraliseerd water	
Verlagen van de druk in het containment	De integriteit van het containment handhaven	Containmentsproeipompen	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door de "GDS" diesels
	Lagedrukinjectie vergemakkelijken	Lagedrukveiligheidsinjectiepompen aangesloten aan de containmentsproeikring	
	Waterstofexplosie voorkomen	Autocatalytische recombinatoren	passief

Tabel 18: Strategie en middelen voor het beheer van ernstige ongevallen in de kerncentrale Doel

Strategie	Doelstellingen	Middelen	Voedingen
Drukverlaging van de primaire kring	Hogedrukbreuk van het reactorvat voorkomen Zorgen voor lagedrukinjectie	Stoomgeneratorontlastingskleppen naar de condenser	Wisselstroomvoeding is niet vereist
		Stoomgeneratorontlastingskleppen naar de atmosfeer	
		Hulpbesproeiing van het drukregelvat	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door de veiligheidsdiesels
		Noodbesproeiing van het drukregelvat	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door veiligheids- of nooddiesels
		SEBIM-kleppen (Doel 1/2)	Gelijkstroomvoeding is vereist en wordt ondersteund door batterijen en nooddiesels
		PORV-kleppen (Doel 3 en Doel 4)	Naast de gelijkstroom is ook perslucht vereist
		MORV-kleppen (Doel 3 en Doel 4)	380 V gelijkstroomvoeding is vereist
Injectie van water in de primaire kring	Een breuk in het reactorvat voorkomen of uitstellen De gevolgen van interacties tussen corium en beton in de reactorput verminderen	Hogedrukveiligheidsinjectiepompen	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door veiligheids- of nooddiesels
		Lagedrukveiligheidsinjectiepompen	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door veiligheids- of nooddiesels
		Noodsuppletiewaterpompen van de primaire kring (Doel 3 en Doel 4)	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door veiligheids- of nooddiesels
		Containmentsproeipompen (Doel 3 en Doel 4)	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door veiligheids- of nooddiesels
		Ladingspompen	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door veiligheids- of nooddiesels
Injectie van water in de reactorput	De gevolgen van interacties tussen corium en beton in de reactorput verminderen	Gravitaire vulling door de RWST	Passief

Verlaging van de druk in het containment	De integriteit van het containment handhaven	Containmentsproeipompen	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door veiligheids- of nooddiesels
		Lagedrukveiligheidsinjectiepompen	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door veiligheids- of nooddiesels
		Ventilatiekoelbatterijen van het reactorgebouw	Wisselstroomvoeding wordt ondersteund door veiligheids- of nooddiesels
		Ontluchting van het reactorgebouw (wanneer geen andere oplossingen overblijven)	
	Waterstofexplosie voorkomen	Autocatalytische recombinatoren	Passief

6.4. Ongevallenbeheermaatregelen om radioactieve lozingen te beperken

Vóór toepassing van de richtlijnen die de volgende strategieën aanbevelen, moeten de bedrijfsploegen alle mogelijke lozingswegen van splijtingsproducten controleren. De toepassing van deze strategieën impliceert ook de langetermijncontrole van de mogelijke risico's van hun invoering.

6.4.1. Vermindering van de lozing van splijtingsproducten

Deze strategie treedt in werking wanneer de hoeveelheid radioactief materiaal in het containment een niveau bereikt waarbij atmosferische lozingen redelijkerwijs kunnen worden verwacht en beschermende maatregelen voor de bevolking buiten de site vereist zijn. De geïdentificeerde mitigerende maatregelen hangen af van de herkomst van de lozing:

- voor de lozingen uit het containment zijn de geïdentificeerde maatregelen:
    - besproeiing in het reactorgebouw
    - ventilatie/filtering van de tussenruimte,
    - en toevoeging van natriumcarbonaat aan het water in de sterfputten van het containment (om jodium te vangen);
- voor de lozingen uit de stoomgeneratoren zijn de geïdentificeerde maatregelen:
    - vullen van de stoomgenerator met water,
    - isolatie en uitstoot van stoom van de getroffen stoomgenerator naar de condensor eerder dan naar de atmosfeer,
    - en andere alternatieve maatregelen (zoals besproeiing van de uitgestoten stoom met brandslangen);
- voor de lozingen uit het gebouw van de nucleaire hulpdiensten zijn de geïdentificeerde maatregelen:
    - ventilatie/filtersystemen,
    - in het geval van falen van een containmentpenetratie, de isolatie van de containmentpenetratie die de uitstoot veroorzaakt,
    - en in het geval van een lek in één van de recirculatielussen, vermindering van het debiet in de lus in kwestie, isolatie van de lus en het gebruik van andere recirculatielussen.

6.4.2. Injectie van water in de stoomgeneratoren om de splijtingsproducten te vangen die uit de beschadigde stoomgeneratorpijpen lekken.

Deze strategie treedt in werking bij een te laag waterpeil in de stoomgeneratoren. Geïdentificeerde maatregelen wanneer de druk in de stoomgeneratoren hoog is: de hulpvoedingswaterpompen, de noodvoedingswaterpompen en de normale voedingswaterpompen.
Wanneer de druk in de stoomgeneratoren laag is, worden de pompen van het waterextractiesysteem en van het ruwwatersysteem gebruikt.

6.4.3. Injectie van water in de primaire kring om de splijtingsproducten te vangen die uit de kernfragmenten vrijkomen.

Deze strategie treedt in werking wanneer de temperatuur aan de uitgang van de kern wijst op een blootliggende kern. De geïdentificeerde maatregelen zijn:

- de pompen van de hogedruk- en lagedrukveiligheidsinjectiekringen,
- de pompen van de containmentsproeikring,

- de pompen van de noodinjectiekring,
- de pompen van de chemische en volumetrische controlekring,
- het water- en boorsuppletiepompen,
- de primaire pompen en de speciale middelen in stilstand.

6.4.4. Injectie van water in het containment

Het doel van deze strategie is voldoende NPSH te garanderen voor een recirculatiefase en ervoor te zorgen dat er, als preventieve maatregel, voldoende water in het containment is om splijtingsproducten te vangen die voortkomen uit de kernfragmenten. Ze treedt in werking wanneer het waterpeil in de sterfputten te laag is.
De geïdentificeerde maatregelen zijn de containmentsproeipompen, de lagedrukveiligheidsinjectiepompen en de toevoeging van natriumcarbonaat aan het water in de sterfputten van het containment.

6.4.5. Controle omstandigheden containment

Het doel van deze strategie is de concentratie van splijtingsproducten te verminderen en de splijtingsproducten te vangen die uit het containment vrijkomen. Ze treedt in werking wanneer de druk in het containment op lange termijn niet meer beantwoordt aan een stabiele en gecontroleerde toestand.
De geïdentificeerde maatregelen zijn de containmentsproeipompen, de lagedrukveiligheidsinjectiepompen en de toevoeging van natriumcarbonaat aan het water in de sterfputten van het containment.

6.4.6. Injectie van water in de reactorput

Het doel van deze strategie is splijtingsproducten te vangen die vrijkomen uit de kernfragmenten in de reactorput en het reactorvat. Deze strategie treedt in werking wanneer de temperatuur aan de uitgang van de kern wijst op een verdere achteruitgang van de kern.
De geïdentificeerde maatregelen zijn de hogedruk- en lagedrukveiligheidsinjectiepompen, de noodinjectiepompen, de containmentsproeipompen, de water- en boorvoedingspompen en de chemische en volumetrische controlekring.

6.5. Ongevallenbeheermaatregelen voor verlies van koeling van splijtstofdokken

Het doel is hier om het blootliggen van de splijtstof in de splijfstofdokken te voorkomen, door de actieve afkoeling van de dokken te herstellen of door met alle beschikbare middelen (al dan niet conventioneel) voor de toevoer van water te zorgen.
Zelfs zonder watertoevoer kan de tijd tot de splijtstof blootligt worden berekend in dagen voor de splijtstofdokken in Doel en Tihange en in weken voor de DE-opslaginstallatie in Tihange. Dit laat voldoende tijd om een alternatieve watervoorraad te installeren of te brengen wanneer alle traditionele methoden onbeschikbaar zijn.

6.5.1. Huidige ongevallenbeheermaatregelen

Kerncentrale Tihange

Een koelkring (CTP) met twee pompen en twee warmtewisselaars zorgt voor de afkoeling van de splijtstofdokken van de reactoreenheden.

De splijtstofdokken van het DE-gebouw worden gekoeld door middel van een koelkring (CTP) met twee pompen en twee warmtewisselaars.

De koelkring van het splijtstofbekken kan door vier ernstige defecten worden getroffen: het verlies van een individueel onderdeel van de uitrusting (een pomp of een warmtewisselaar), het verlies van de voeding van de pompen, het verlies van de ultieme koudebron en het verlies van de waterinventaris.

Bij verlies van een individueel onderdeel van de uitrusting (pomp of warmtewisselaar), wordt de koelfunctie hersteld door manueel over te schakelen naar de reserve-uitrusting.

Bij volledig verlies van externe vermogenvoeding (LOOP) in Tihange 1, is gravitaire suppletie uit een waterreservoir beschikbaar.
Bij een volledige LOOP in Tihange 2 en/of Tihange 3 worden de CTP- en STP-koelpompen bijgevoed door de 380 V gezekerde elektrische borden van de "BUS", die correct moeten worden aangesloten (omschakeling in de elektrische panelen). De bedrijfsprocedures in ongevalsomstandigheden vereisen automatisch deze bijvoeding. In beide gevallen wordt de voeding voor de CTP- en STP-pompen omgeschakeld naar de secundaire 380 V gezekerde schakelborden.

Bij volledig verlies van de primaire ultieme koudebron in Tihange 1 worden de warmtewisselaars die de dokken koelen, van grondwater voorzien conform de bedrijfsprocedures in ongevalsomstandigheden.
Bij volledig verlies van de primaire ultieme koudebron in Tihange 2 en/of Tihange 3 worden de CTP-wisselaars via een vaste aansluiting met koelwater van de "CRU"-kring (noodkoelkring) bijgevuld. De drie CRU-treinen kunnen dan de CTP-wisselaars voeden. Wanneer de hierboven vermelde procedures worden toegepast is de systematische overschakeling naar de alternatieve ultieme koudebron (CRU/CEU) vereist.
Bij volledig verlies van de primaire ultieme koudebron van de dokken in gebouw DE, wordt Tihange 3 door de CEU-kring (secundaire noodwatervoorziening) gevoed via flexibele verbindingen. Bij falen hiervan kunnen de grondwaterputten van Tihange 2 via een flexibele verbinding worden aangesloten om de STP-wisselaars te voeden.

Al deze factoren bevorderen de afkoeling van de splijtstofdokken, voorkomen koken en vermijden derhalve het hiermee gepaard gaande verlies van de waterinventaris.

Bij volledig verlies van alle koudebronnen en vóór aanzienlijk waterverlies, is permanente suppletie mogelijk door mobiele bijvulmiddelen via de bluswaterkring ("CEI"). Dit is ook mogelijk bij station

black-out of overstroming. Bovendien is in Tihange 1 een extra pomp beschikbaar om de splijtstofdokken te voeden en voor een adequate toevoer van koelwater (CTP). Deze pomp, die wordt aangedreven door het normale elektriciteitsnet, kan worden ondersteund door de nooddiesel ("DUR"). Bij verlies van de waterinventaris in de dokken, zijn de potentiële bijvulbronnen met name de andere niet getroffen compartimenten van de dokken, de B01Bi-tank of de CTP-reservoirs, de boorzuurpompen en reservoirs en de pompen en reservoirs voor ontlucht water, de CEI-kring via de haspels in gebouw D of de niet-conventionele bevoorradingsmiddelen ("CMU").

Kerncentrale Doel

Doel 1/2

De PL-kring (Pool Loop) van het splijtstofbekken van Doel 1/2 bestaat uit twee gedeelten:

- een zuiveringsgedeelte met twee pompen, met een 1ste niveau voeding;
- een afkoelingsgedeelte met drie pompen en drie warmtewisselaars.

De normale watervoorzieningsbronnen voor de PL-dokken zijn de MW- en PL-kringen van de WAB. In noodsituaties kan de watervoorraad/het waterreservoir van de RWST's worden gebruikt. De aanvoer van FE-water is een mogelijkheid.

Bij een aardbeving is de FE-kring in het GNS de gegarandeerde watervoorzieningskring. De toevoer wordt bediend vanuit de LU-vijver van Doel 3. Indien nodig kan een brandslang van de FE-kring in het GNS worden aangesloten op de PL-dokken. Voor een debiet van 13 ton per uur volstaat één brandslang.

Doel 3 en Doel 4

De PL-kring (Pool Loop) van de splijtstofdokken van Doel 3 en Doel 4 bestaat uit twee lussen. Elke lus bestaat uit een pomp en een warmtewisselaar.

Er is een incidentenprocedure waarin één pomp de PL-koeling kan garanderen wanneer de andere pomp om welke reden dan ook (elektrisch of mechanisch) buiten bedrijf is. Een reservepomp en de nodige aansluitingsuitrusting zijn aanwezig. De incidentenprocedure stelt ook alternatieve koelmogelijkheden voor mocht de normale koeling via de warmtewisselaar niet beschikbaar zijn. Wanneer het FE-net intact is schrijft de procedure het gebruik voor van FE-slangen. Indien het FE-net geïsoleerd is als gevolg van de veiligheidssignalen, wordt een alternatief aansluitingspunt voorgesteld.

Een specifieke incidentenprocedure schrijft de acties voor die moeten worden ondernomen bij een ongecontroleerde niveaudaling in de splijtstofdokken. In eerste instantie zullen de pompen die de kring zuiveren, worden uitgeschakeld. Op deze manier kunnen mogelijke lekken worden gelokaliseerd. Toevoermogelijkheden zijn SI (van RWST), MW en FE. Een watertoevoer van 13 m³ per uur volstaat om de verdamping te compenseren.
Er wordt een studie uitgevoerd naar een vaste leiding voor de alternatieve bijvulling van de splijtstofdokken van Doel 1/2 en Doel 3 en Doel 4.

6.5.2. Cliff-edge-effecten en timing

De splijtstofdokken van de eenheden van Doel en Tihange

Het verlies van actieve koeling van een splijtstofbekken is een langzaam en geleidelijk proces. De grote hoeveelheden water, voornamelijk voor afscherming en de lage restwarmte (vergeleken met de kern) resulteren in aanzienlijke inertie.
Het verlies van koeling van de splijtstofdokken verloopt in verschillende fasen:

- het water warmt op tot het kookpunt. Na deze fase belemmert de stoom rond de dokken en in sommige aangrenzende lokalen de toegang voor interventies (zoals het bijvullen van de dokken of het herstel van de koeling door middel van geforceerde convectie);

- nadat verscheidene meters water boven de splijtstofelementen zijn verdampt gaat de afscherming verloren. Hierdoor wordt de zone nog ontoegankelijker omwille van dosimetrische redenen. Bovendien is door de configuratie van de waterinlaten voor geforceerde convectie beneden dit peil geen actieve koeling meer mogelijk;
- de splijtstofelementen liggen bloot. Zodra de splijtstofelementen bloot liggen, stijgt de temperatuur van de hulzen, wat uiteindelijk leidt tot het verlies van de integriteit en mogelijk tot het smelten van de splijtstofelementen.

Om deze opeenvolgende gebeurtenissen te voorkomen moeten de dokken worden bijgevuld en de geforceerde convectie worden hersteld. Hierbij moet rekening worden gehouden met de beperkingen van de verschillende fasen, waarvan de timing in de volgende tabel wordt weergegeven. Voor de eenheid in kwestie wordt met drie initiële configuraties rekening gehouden: tijdens normale vermogenwerking, na volledige ontlading van de kern wanneer de dokken van het reactorgebouw en van het gebouw van de nucleaire hulpdiensten niet verbonden zijn (de ongunstigste situatie voor de splijtstofdokken) en na volledige ontlading wanneer de dokken van het reactorgebouw en van het gebouw van de nucleaire hulpdiensten verbonden zijn.

Tabel 19: Timing van de verschillende fasen tijdens het verlies van de koeling van de splijtstofdokken in de eenheden van Tihange

Eenheid	Fase	Vermogen	Ontlading zonder verbinding naar het reactorgebouw	Ontlading met verbinding naar het reactorgebouw
Tihange 1	Koken [uren]	40.7	10.2	10.2
	Afschermingsverlies [dagen]	13.0	3.7	5.8
	Blootlegging [dagen]	16.5	4.7	9.3
Tihange 2	Koken [uren]	24.6	7.8	7.8
	Afschermingsverlies [dagen]	4.2	1.5	3.6
	Blootlegging [dagen]	6.6	2.4	6.8
Tihange 3	Koken [uren]	30.8	9.2	9.2
	Afschermingsverlies [dagen]	6.7	2.3	4.3
	Blootlegging [dagen]	9.9	3.4	6.6

In het allerslechtste geval resulteert in Tihange 2 een hoge verhouding tussen restwarmte en watervolume zonder watersuppletie, na 2,4 dagen in blootlegging van de splijtstofelementen. In de meeste situaties is er voor de drie eenheden meer tijd (ongeveer een week of zelfs langer).

Tabel 20: Timing van de verschillende fasen tijdens het verlies van de koeling van de splijtstofdokken in de eenheden van Doel

Eenheid	Fase	Vermogen	Ontlading zonder verbinding naar het reactorgebouw	Ontlading met verbinding naar het reactorgebouw
Doel 1/2	Koken [uren]	43	15	15
	Afschermingsverlies [dagen]	7	3	5
	Blootlegging [dagen]	11	4	9
Doel 3	Koken [uren]	26	8	8
	Afschermingsverlies [dagen]	5	2	3
	Blootlegging [dagen]	8	3	5

Doel 4	Koken [uren]	34	10	10
	Afschermingsverlies [dagen]	7	3	3
	Blootlegging [dagen]	11	3	6

In Doel 3 is de correlatie tussen de restwarmte en het watervolume in de dokken het sterkst. Dit betekent dat na een periode van 3 dagen - de slechtst mogelijke configuratie - water moet worden toegevoegd om blootlegging van de gebruikte splijtstofelementen te voorkomen.

Gebouw DE (Tihange)

Het verlies van de actieve koeling van de splijtstofdokken in gebouw DE is een langzaam en geleidelijk proces. De grote hoeveelheden water, voornamelijk voor afscherming en de lage restwarmte (vergeleken met de kern) resulteren in aanzienlijke inertie.

De timing in de volgende tabel betreft het klassieke geval waarbij alle splijtstofelementen de maximaal toegestane restwarmte hebben bereikt.

Tabel 21: Timing van de verschillende fasen tijdens het verlies van de koelen van de splijtstofdokken in gebouw DE.

Eenheid	Fase	Tijd
Gebouw DE	Koken [uren]	102
	Afscherming [dagen]	16.6
	Blootlegging [dagen]	24.1

Door de aanzienlijke inertie (minstens 3 weken) kunnen maatregelen worden genomen om verlies van koeling te voorkomen van de splijtstofelementen die in gebouw DE zijn opgeslagen.

Splijtstofcontainergebouw (Doel)

In het splijtstofcontainergebouw (SCG) wordt de gebruikte splijtstof opgeslagen in transportcontainers die bestand zijn tegen extreme omstandigheden. Samen met het opslaggebouw bieden de containers de nodige biologische afscherming en, in normale omstandigheden, een betere warmteafvoer.

De cliff-edge-effecten die kunnen leiden tot beschadiging van de splijtstof en radiologische gevolgen die niet in het ontwerp zijn voorzien, zijn het gevolg van oververhitting van de splijtstof door onvoldoende koeling en/of de niet-lekdichtheid van de container ter hoogte van de dubbele dichting van het primaire deksel. Het verlies van het neutronenabsorberende hars en/of de afscherming van het gebouw leidt niet tot beschadiging van de splijtstof. De radiologische gevolgen zijn nooit onaanvaardbaar.

De splijtstofcontainers zijn bestand tegen een brand van 60 minuten, bv. als gevolg van een vliegtuigongeluk. Bij het ontwerpongeval dooft het vuur spontaan omdat het uitgesloten is dat de metalen containers zouden branden. Bij een brand die niet in het ontwerp is voorzien, zijn aanzienlijke marges ingebouwd ter hoogte van de zwakste schakel, met name de primaire dichtingen.

6.5.3. Benodigde instrumentatie om de gebruikte splijtstof te controleren en het ongeval te beheren

Kerncentrale Tihange

Alle splijtstofdokken zijn voorzien van niveaumeetsonden die bij een verandering van het nominale niveau, in de controlezaal een geluidsalarm doen afgaan. Bovendien worden niveauveranderingen gedetecteerd met behulp van drukmetingen aan de inlaat van de skimming pompen van de splijtstofdokken.
De temperatuur van de dokken wordt continu gemeten en temperatuurstijgingen stellen in de controlezaal een alarm in werking. In gebouw DE in Tihange 3 worden de temperaturen gemeten en in de controlezaal wordt ook een alarm in werking gesteld.

Deze metingen worden normaal gevoed door elektrische niet-veiligheidspanelen maar worden ondersteund door de 1e niveau diesels en uitgerust met batterijen die een stroomstoring van maximaal 3 uur kunnen overbruggen.

In het kader van de periodieke veiligheidsherzieningen is voor de dokken bijkomende niveaumeetinstrumentatie voorgesteld die bestand is tegen accidentele omgevingsomstandigheden.

Kerncentrale Doel

Doel 1/2

In het GNH zijn twee dokken met splijtstofelementen en beide zijn uitgerust met twee temperatuur- en twee niveaumetingen. Een van beide wordt gevoed door het 1e niveau en de andere door het 2e niveau verdeelnet van elektrische voeding.

In de onmiddellijke omgeving van de dokken is apparatuur aanwezig om de radioactiviteit in de omgeving te meten, maar ze heeft geen veiligheidsfunctie. De radioactiviteitsinstrumentatie op de schouw van het GNH heeft een veiligheidsfunctie. De radioactiviteitsmetingen op de schouw van het GNH starten de filtering van de radioactieve lozingen.

Boven de dokken is er lokale ventilatie maar ze heeft geen veiligheidsfunctie. De ventilatie van het GNH, het gebouw waarin de dokken zijn ondergebracht, vormt de veiligheidsgebonden ventilatie van de dokken.

Doel 3 en Doel 4

In het SPG zijn twee splijtstofdokken. Beide zijn uitgerust met twee temperatuur- en twee niveaumetingen. Alle metingen worden uitgevoerd via de 2e niveau voeding van de bunker.

De ventilatie van het splijtstofbekkengebouw is een veiligheidskring die bestaat uit twee redundante treinen. Wanneer met behulp van geschikte redundante meetuitrusting radioactieve edelgassen worden gedetecteerd, worden de filters in werking gesteld. In de onmiddellijke omgeving van de dokken in het SPG, kunnen twee toestellen die de radioactiviteit in de omgeving meten vanuit de controlezalen worden geraadpleegd.

6.5.4. Waterstofaccumulatie

Om het waterstofaccumulatierisico in de splijtstofdokken te evalueren, moet de productiesnelheid van dit gas worden berekend. Er zijn twee waterstofproductiebronnen geïdentificeerd:

- de oxidatie van de zirkoniumsplijtstofhuls door de waterdamp na blootlegging van de splijtstofelementen;

- de radiolyse van het water in de dokken te wijten aan de straling van de splijtstofelementen. Deze waterstofproductie vindt ook plaats in normale omstandigheden. In ongevalsomstandigheden kan, wanneer de ventilatiekring van het gebouw niet beschikbaar is, dergelijke productie op lange termijn resulteren in een aanzienlijke accumulatie.

Er kunnen drie hoofdconclusies worden getrokken:

- in de eerste plaats kan de blootlegging van de splijtstofelementen door oxidatie van de zirkoniumhuls worden vermeden door watersuppletie naar de dokken. Dit kan binnen enkele dagen worden gerealiseerd vóór de splijtstof komt bloot te liggen en door de aanzienlijke diversificatie van de suppletiemiddelen. Een watersuppletie van 14 m³/u volstaat altijd om de verdamping te compenseren van de dokken van de drie eenheden van Tihange. Voor gebouw DE volstaat een suppletie van 5,1 m³/u. Een watersuppletie van 13 m³/u volstaat altijd om de verdamping te compenseren van de dokken van alle eenheden van Doel.
- de ventilatiekring moet zorgen voor de permanente luchtverversing in de gebouwen waar de splijtstofdokken zijn ondergebracht. Indien deze kring niet beschikbaar is kan de waterstof, die door radiolyse wordt geproduceerd zich accumuleren, waardoor een explosiegevaar niet kan worden uitgesloten. In het allerslechtste geval waarbij de volledige kern net in het splijtstofbekken ontladen is, kan de ontvlambaarheidsdrempel na enkele dagen worden bereikt;
- gezien de zeer lage restwarmte in gebouw DE, kan de mogelijkheid van waterstofaccumulatie worden uitgesloten. De waterstofproductie door radiolyse is immers verwaarloosbaar en de splijtstofelementen komen pas bloot te liggen ongeveer 20 dagen na het volledige verlies van de koeling.

De impact van potentiële waterstofproductie in de gebouwen van de splijtstofdokken is beperkt na een ongeval dat leidt tot het volledige verlies van de bekkenkoeling. Door het herstel van de ventilatiekringen en de beschikbare watersuppletiemiddelen voor de dokken kan het risico van waterstofaccumulatie worden voorkomen.
Er zal evenwel een bijkomende studie worden uitgevoerd om het restrisico van waterstofaccumulatie te evalueren.

6.5.5. Adequaatheid van de huidige ongevallenbeheermaatregelen en mogelijke bijkomende maatregelen

Kerncentrale Tihange

Zonder actieve koeling van de dokken wordt de warmte afgevoerd via de ventilatiekring van de dokkenzone door middel van het filtersysteem op de extractie van de hallen van de dokken.
Een watersuppletie van 14 m³/u volstaat altijd om de waterverdamping te compenseren van de splijtstofdokken van de drie eenheden.
De omgevingsomstandigheden worden gecontroleerd met behulp van radioactiviteitsmeetapparatuur in de hallen op de ventilatiekring aan de schouw.
De instructies bij verlies van water in de dokken zijn opgenomen in de splijtstofbehandelingsprocedure. Voor problemen bij de behandeling van splijtstofelementen zijn er ook instructies.

Kerncentrale Doel

Doel 1/2

De maatregelen bij een ernstig ongeval verschillen niet van die vóór het ongeval. Ze hebben altijd tot doel om de beschadiging van splijtstof te voorkomen door watersuppletie en afkoeling van de dokken. Het splijtstofbekken in het GNH kan op verschillende manieren worden afgekoeld.

Boven de splijtstofdokken is er ventilatie maar ze heeft geen veiligheidsfunctie. De gebouwventilatie van het GNH naar de GNH-schouw is de veiligheidsventilatie voor de dokken. Er zijn filters maar die kunnen alleen radioactiviteit opvangen indien het vochtgehalte van de toegevoerde lucht kan worden beperkt.
Er is ook een specifieke procedure met richtlijnen inzake ongecontroleerde niveaudaling in een splijtstofbekken. De procedure beschrijft hoe het personeel zichzelf in veiligheid kan brengen en hoe de voorbereiding van een mogelijke interventie in de dokken verloopt.
In de wanden van de dokken zitten functionele gaten om barsten in de liner te detecteren. Deze gaten kunnen preventief worden gedicht.

Doel 3 en Doel 4

De zone van de splijtstofdokken wordt geventileerd door het veiligheidsgedeelte van het VF, bestaande uit twee redundante treinen die voorzien zijn van filters die moeten worden gebruikt nadat radioactiviteit is gemeten.
Voor een effectieve werking van de filters moet de vochtigheidsgraad worden beheerd. De luchtafvoer wordt naar een schouw geleid waar meetuitrusting de lozing registreert.

6.5.6. Terugkeer naar een stabiele en gecontroleerde toestand

De terugkeer naar een stabiele en gecontroleerde toestand na langdurig verlies van de koeling van de dokken bestaat in de eerste plaats uit het herstel van het normale niveau in de dokken. Zonder actieve koeling is de koelconfiguratie gekenmerkt door een watertoevoer die de verdamping van de kokende dokken compenseert en door de passieve afvoer van de stoom in de omgeving.
Om op lange termijn de stoomuitstoot in de omgeving te stoppen moet een gesloten koelluskring worden geplaatst.

6.6. Samenvatting van de belangrijkste resultaten voorgesteld door de exploitant

Op basis van de informatie in de stresstestrapporten van de exploitant en de bijkomende informatie die door de exploitant is verstrekt tijdens technische vergaderingen en inspecties op de site, zijn de belangrijkste resultaten voor het onderwerp "beheer van ernstige ongevallen" als volgt:

De exploitant heeft een groot aantal strategieën en maatregelen (middelen en procedures) voor het beheer van ernstige ongevallen behandeld, met een beschrijving van hun huidige toestand en een voorstel voor potentiële bijkomende maatregelen.

De resultaten van de evaluaties bevestigden opnieuw de behoefte aan altijd en in alle omstandigheden beschikbare voedingen en waterbronnen om de koeling van de splijtstof te waarborgen. Daarom verlaat de exploitant zich op de invoering van nieuwe veiligheidsmiddelen ("niet-conventionele middelen") en de versterking van zijn veiligheidsorganisatie.

De door de exploitant geplande nieuwe noodmiddelen omvatten onder andere mobiele diesels, mobiele pompen, elektriciteitskabels en slangen om aan te sluiten op verschillende waterbronnen en -kringen. De exploitant benadrukt dat een aantal van deze niet-conventionele middelen kort na het ongeval in Fukushima werden geleverd en reeds op het terrein beschikbaar zijn.
Daarenboven zullen sommige geselecteerde lussen op het brandblusnet worden versterkt om hun weerstand tegen aardbevingen te verbeteren om ze indien nodig te gebruiken voor de watersuppletie van sommige veiligheidssystemen.

Wat betreft de noodorganisatie, bepaalde de exploitant drie operationele niveaus om gebeurtenissen in verschillende eenheden beter te kunnen aanpakken:

- Modus "Standard", met één betrokken eenheid; in dit geval blijft de huidige organisatie van het interne noodplan van toepassing;
- Modus "Alert", wanneer een voorspelbare crisissituatie waarschijnlijk verschillende eenheden zal treffen (bv. grootschalige overstroming); in dit geval zullen wachtrolmanagers en een aantal medewerkers van de technische dienst permanent op de site stand-by blijven; de gedetailleerde organisatie van de modus “Alert” is lopende;
- Modus "High": wanneer een niet-voorspelbare crisissituatie plots verschillende eenheden op dezelfde site gelijktijdig treft (bv. aardbeving); de gedetailleerde organisatie van de modus "High" is lopende.

In 2013 zal de nieuwe noodorganisatie volledig geïmplementeerd zijn.

Ondertussen zal de huidige bedrijfskamer op de site ("COS") van Tihange verhuizen naar een seismisch geschikt gebouw, uitgerust met een gezekerde elektrische voeding en een ventilatiekring met koolstoffilters om het personeel te beschermen tegen jodium.

Gelijktijdig plant de exploitant aanvullende studies over de volgende onderwerpen:

- de installatie van gefilterde containment venting van elke eenheid op beide sites: deze uitrusting zou de atmosferische lozingen efficiënt kunnen filteren indien na een ernstig ongeval de druk in het reactorgebouw moet worden verminderd.
- de evaluatie van het restrisico van waterstofaccumulatie in de gebouwen van de koeldokken: het doel is om, in de verschillende beschouwde ongevalsituaties, de mogelijkheid te evalueren dat de geproduceerde waterstof in de koeldokken een gevaarlijke concentratie bereikt.

Tot slot zal de exploitant het internationale onderzoek en de ontwikkeling blijven volgen inzake de beperking van de interacties tussen corium en beton in de reactorput.

6.7. Evaluatie en conclusies van de veiligheidsautoriteit

De door de exploitant aangenomen benadering om het beheer van ernstige ongevallen opnieuw te evalueren voldoet aan de door hem verstrekte methodologie die door de veiligheidsautoriteit is goedgekeurd.

De door de exploitant voorgestelde verbeteringen, vooral in termen van supplementaire veiligheidsmiddelen en noodorganisatie, zullen de responscapaciteit van de centrales verhogen en het vermogen om de potentiële gevolgen van een ernstig ongeval te verminderen verder verbeteren.

Op basis van de evaluatie van de rapporten van de exploitant en de eropvolgende technische vergaderingen en inspecties op de site, heeft de veiligheidsautoriteit bijkomende eisen en aanbevelingen bepaald om het beheer van noodsituaties verder te verbeteren.

1. De adequaatheid van de procedurele richtlijnen (BK-procedures voor Doel en richtlijnen voor het beheer van ernstige ongevallen voor Tihange) om het hoofd te bieden aan een ernstig ongeval werd geëvalueerd door de exploitant waarbij hij hoofdzakelijk vertrouwt op het feit dat deze procedures geïnspireerd werden door de filosofie van de "severe accident management guidelines" (WOG SAMG) van de Westinghouse owners group, dat ze regelmatig worden geactualiseerd en gevalideerd worden in het kader van de periodieke veiligheidsherzieningen.
   Toch moeten de volgende aspecten van deze procedures nog worden verbeterd:
   - de BK-procedures voor Doel zouden moeten worden aangevuld met langetermijntoezichts- en uitstaprichtlijnen, zoals die reeds bestaan voor Tihange (SAEG-1 and SAEG-2);
   - in sommige BK-procedures voor Doel wordt verwezen naar de (verschillende) FR-procedures voor de verklaring van de aanbevolen methodes. Deze constante overschakeling tussen verschillende procedures zou moeten worden vermeden en daarom zouden de BK-procedures meer zelfdragend moeten zijn en alle informatie bevatten die nodig is voor hun toepassing;
   - een zuurgraad berekeningsinstrument binnen het containment zou moeten worden toegevoegd aan de BK/SAMG-procedures voor de bepaling van de zuurgraad van het water in de sterfput op basis van de waterhoeveelheden die gebruikt worden tijdens het beheer van het ongeval, waarbij rekening wordt gehouden met alle andere fysische en chemische processen die de pH beïnvloeden; dit instrument zou tevens gebruikt kunnen worden als een controle en back-up voor een specifiek bemonsteringssysteem;
   - een instrument voor het ondersteunen van beslissingen (tabel/stroomdiagram) zou moeten worden toegevoegd aan de BK/SAMG-procedures om zo snel en nauwkeurig mogelijk de (meest waarschijnlijke) locatie van een lekpad van de containment te kunnen aanwijzen gebaseerd op de uitlezing van bepaalde detectoren en om de meest gepaste acties te bepalen om een verspreiding van splijtingsproducten te beperken. Deze aanpak zou de opstelling van mobiele detectoren op specifieke locaties kunnen inhouden;
   - de BK-procedures zouden kwantitatieve criteria moeten kunnen verschaffen m.b.t. geselecteerde sleutelparameters om snel te kunnen arbitreren tussen de afvoer van de restwarmte en de isolatie van een lek in de recirculatieleidingen;
   - een instrument voor het ondersteunen van beslissingen zou moeten worden toegevoegd aan de BK-procedures om te kunnen arbitreren tussen de injectie in de primaire kring en het sproeien binnen het containmentgebouw.

2. De exploitant zou er ook moeten op letten dat de noodplanopleiding en de bijscholingscursussen van Tihange en deze van Doel zo veel mogelijk op elkaar worden afgestemd (die verschillen in duur en frequentie).

3. Voor Doel vermeldt de exploitant dat de mogelijkheid van een stoomexplosie wanneer er corium uit het reactorvat terechtkomt in een reactorput die onder water staat, zeer klein is en

dus kan worden verwaarloosd; dit is gebaseerd op verschillende experimenten die werden uitgevoerd als onderdeel van internationale onderzoeksprogramma's die dit fenomeen niet konden creëren.
Voor Tihange (wanneer de reactorput niet onder water staat vooraleer er een zich een breuk in het reactorvat voordoet) stelt de exploitant dat een haalbaarheidsstudie naar een systeem waardoor water in de reactorput kan worden geïnjecteerd, zal worden uitgevoerd.
De exploitant zou evenwel de aan de gang zijnde stoomexplosie-experimenten nauwlettend moeten opvolgen en zo nodig zouden de huidige strategieën voor het onder water zetten van de reactorput vooraleer er een breuk komt in het reactorvat nog moeten worden aangepast.

4. De exploitant zou tevens de noodzaak moeten onderzoeken om nieuwe voorzieningen aan te brengen die nuttig zouden kunnen zijn voor het beheer van ernstige ongevallen (pH-metingen in de sterfputten, temperatuurmetingen op de bodem van het reactorvat voor de controle naar een eventuele kernsmelting). De bijbehorende hardwarewijzigingen om deze aspecten te verbeteren, zouden daar waar ze toepasselijk zijn moeten worden uitgevoerd.

5. De exploitant zou de effectieve middelen moeten identificeren om de pH te controleren binnen het containmentgebouw na een ernstig ongeval. Deze vereiste is van toepassing in de vroegste stadia van het ongeval en tevens op lange termijn. Voor het beheer van de langetermijnfase van een ernstig ongeval zou de exploitant rekening moeten houden met de impact die andere acties voor het beheer van ernstige ongevallen kunnen hebben op de mogelijkheid van de bijvulling van de NaOH tank en de mogelijkheid van maatregelen die geen verband houden met NaOH-injectie om de pH in de sterfput te beïnvloeden in basische richting.

6. Als verdere diversificatie van de beschikbare strategieën voor het beheer van een ernstig ongeval zou een optimale batterij "load shedding" strategie (voor een zo lang mogelijke levensduur van de batterijen en bijgevolg een zo lang mogelijke beschikbaarheid van de vitale uitrusting voor het beheer van ernstige ongevallen) moeten worden ontwikkeld en toegevoegd aan de ERG-procedures (voorkomen van ernstig ongeval) en aan de BK/SAMG-procedures (mitigatie van ernstig ongeval).
Een berekenings- en beslissingsondersteuningsinstrument zou parallel moeten bestudeerd worden om de spanningsafnemers te bepalen die kunnen worden afgestoten, de extra batterijautonomie die kan worden verkregen door het afschakelen van bepaalde spanningsafnemers, de functies voor het beheer van ernstige ongevallen die verloren zullen gaan door de afschakelen van bepaalde spanningsafnemers en de alternatieven die kunnen worden overwogen om het verlies van elke specifieke functie voor het beheer van ernstige ongevallen (gedeeltelijk) te compenseren.

7. De exploitant zou de technische specificaties van de kerncentrales moeten herzien om een betere beschikbaarheid van de nooduitrusting van het tweede niveau te garanderen. In het bijzonder de maximaal toegelaten stilstandtijden en de tijdslimieten voor een het opnieuw in gebruik nemen zouden moeten geherevalueerd en gerechtvaardigd worden, met inachtname van de betrokken risico's.

8. De exploitant zou de bijkomende middelen (met inbegrip van de niet-conventionele middelen) moeten beschouwen als veiligheidsrelevante uitrusting, zolang ze een sleutelrol vervullen in de preventie, detectie en/of de mitigatie van een ernstig ongeval (defence in depth). In deze context zal de exploitant de specifieke voorzieningen bepalen die daar waar nodig, van toepassing zijn op deze uitrusting (opname in de technische specificaties, inspecties en tests, preventief onderhoud…).

7. Algemene conclusies

7.1. Belangrijkste door de exploitant voorgestelde resultaten en veiligheidsverbeteringen

In de vorige hoofdstukken van dit verslag werden de gedetailleerde resultaten van deze evaluatie gegeven. In de volgende paragrafen worden deze resultaten samengevat. Deze acties zijn verschillend van aard en bestaan uit:

- aanpassing of versnelling van wijzigingen of studies die nog worden uitgevoerd;
- nieuwe technische wijzigingen of aanpassingen;
- bijkomende studies of R&D–programma's;
- wijziging van de organisatie (middelen, organisatie van het noodmanagement, externe ondersteuning);
- aanpassing of ontwikkeling van nieuwe procedures.

In het algemeen hebben de evaluaties die in het kader van de weerstandstesten werden uitgevoerd, aangetoond dat de installaties van de kerncentrales van Doel en Tihange het behoud van de essentiële veiligheidsfuncties kunnen garanderen, en dit hetzij met behulp van de redundante en diverse uitrustingen en systemen die deel uitmaken van de ontwerpbasis van de installaties, hetzij met behulp van de mobiele middelen die op de site worden gebruikt. In enkele gevallen werden er extra verbeteringsvoorstellen geformuleerd om de robuustheid van de installaties nog te verhogen tegen situaties die zich zeer waarschijnlijk niet zullen voordoen, gezien de diversiteit aan water- en elektriciteitsbevoorradingsvoorzieningen die reeds op beide sites aanwezig zijn.

Deze evaluaties tonen aan dat de installaties robuust genoeg zijn om bestand te zijn tegen extreme situaties, mede rekening houdend met de talrijke verdedigingsbarrières en mobiele middelen die heel snel na het ongeval van Fukushima werden voorzien.

Uit de evaluaties blijkt ook dat er de eerste dagen na een dergelijke situatie op geen enkele externe uitrusting beroep moet worden gedaan. Alle noodzakelijke technische uitrustingen zijn immers op de sites aanwezig.

7.1.1. Aardbevingen

De toereikendheid van de aardbeving opgenomen in de ontwerpbasis (DBE) werd nagegaan aan de hand van een eerste studie van het seismische risico, uitgevoerd door de Koninklijke Sterrenwacht van België.

De bekomen resultaten voor de kerncentrale Doel zijn nog steeds in overeenstemming met de waarden die bij het ontwerp van de vier eenheden gebruikt werden.

Voor de kerncentrale Tihange resulteerde de evaluatie in een lichte verhoging van de piek-grondversnelling (maximale grondversnelling/PGA) in vergelijking met de waarden waarmee bij het ontwerp van de installaties rekening werd gehouden. De evaluatie moet nog worden afgerond en geconsolideerd en daarom kunnen er nog geen definitieve conclusies worden getrokken m.b.t. de adequaatheid van de DBE. Niettemin hebben de evaluaties die uitgevoerd werden in het kader van de weerstandstesten aangetoond dat de uitrustingen van de eenheden zeer robuust zijn en een grote marge vertonen tegenover de vereiste weerstand tegen de DBE.

De evaluatie van de marges in het ontwerp werd voor alle eenheden van de sites van Doel en Tihange uitgevoerd tegenover een "Review Level Earthquake" die 1,7 keer zwaarder is dan de piek-grondversnelling (PGA) van de huidige DBE. De resultaten van deze evaluatie toonden aan dat alle Structuren, Systemen en Componenten (SSC) die nodig zijn om de eenheden in een veilige stilstand te

brengen en te houden, voldoende robuust zijn om te weerstaan aan een dergelijke zware aardbeving, met uitzondering van enkele mechanische en elektrische componenten waarvan de verantwoording of verbetering door middel van eenvoudige ingrepen nu worden uitgevoerd.
De evaluatie van de kwestie of het gebouw met de elektriciteitsvoorzieningen van Tihange 1 versterkt moet worden, is nog aan de gang.

Tenslotte werd aangetoond dat een mogelijke breuk van een waterreservoir of leiding als gevolg van een aardbeving, geen invloed op de veiligheid zou hebben.

7.1.2. Overstroming

Tihange

De initiëel in de ontwerpbasis opgenomen overstroming (DBF) (de overstroming van 1926 + 20% die overeenstemt met een rivierdebiet van 2 200 m^3/s) werd geherevalueerd tijdens de meest recente periodieke veiligheidsherziening.

Met een hoogte van 71,5 m boven het zeeniveau is de site van Tihange volledig beschermd tegen de nieuwe DBF (2 615 m^3/s), die overeenstemt met een terugkeerperiode van ongeveer 200 jaar, gezien de maximumhoogte van de rivier 71,30 m bedraagt.

De wijzigingen in de nucleaire regelgeving resulteerden in een nieuwe methodologie om het waterniveau van de Maas te bepalen: het rivierniveau wordt nu berekend op basis van een overstroming met een terugkeerperiode van 10.000 jaar.
Deze nieuwe evaluatie toonde aan dat zelfs indien de Maas progressief buiten haar oevers zou treden, de bestaande systemen de koeling van de splijtstof zullen behouden tot een overstromingsniveau dat overeenstemt met een terugkeerperiode van 400 jaar voor de eenheid Tihange 1, 1600 jaar voor de eenheid Tihange 2 en 900 jaar voor Tihange 3. Er zijn evenwel reeds bijkomende middelen en voorzieningen, gecombineerd met een preventief overstromingsbeheersproces (een grootschalige overstroming is een traag en voorspelbaar fenomeen met een voldoende lange waarschuwingsperiode), beschikbaar op de site om de veiligheidsfuncties in alle omstandigheden te garanderen. De implementatie van het actieplan dat werd opgesteld als resultaat van de periodieke veiligheidsherzieningen om een "droge site" voor deze 10.000-jaarlijkse vloed te garanderen, werd versneld. Ze bestaat uit een perifere (volumetrische) bescherming van de site, lokale perimeterbescherming van bepaalde gebouwen en versterkte niet-conventionele middelen.

Daarenboven werd er in de ontwerpfase rekening gehouden met een mogelijke breuk van de dam stroomopwaarts op de Maas en een faling van de dam stroomafwaarts en deze zouden dus nooit kunnen leiden tot waterinstroom in de site.

Doel

Bij het ontwerp van de centrale van Doel werd de DBF vastgelegd op 9,13 m TAW[6].

Deze DBF heeft een terugkeerperiode van 10.000 jaar. Recentelijk werd deze ontwerpwaarde geherevalueerd in het kader van de periodieke veiligheidsherziening, en lichtjes bijgesteld naar 9,35 m TAW. Op te merken valt dat het hoogste Scheldepeil ooit opgetekend in België, zich situeert op 8,10 m TAW.

Bij ontwerp zijn er 2 grote beschermingsmaatregelen genomen tegen overstroming van de site van de kerncentrale van Doel. De eerste voorziening betreft de Scheldedijk, ter hoogte van de site, die initieel

[6] Tweede Algemene Waterpassing. TAW is de referentiehoogte die gebruikt wordt voor het meten van topologische hoogtemetingen in België. Een TAW-hoogte van 0 meter is gelijk aan het gemiddelde zeeniveau bij laagtij in Oostende

is opgehoogd tot 12,08 m TAW en te allen tijde hoger dan 11,08 m TAW dient te zijn. De tweede maatregel omvat de verhoging van de site ten opzichte van de omringende polders: het platform van de site lag bij ontwerp op 8,86 m TAW, dit is enkele meters hoger dan de polders.

Deze voorzieningen zorgen ervoor dat de eenheden met hun veiligheidssystemen beschermd zijn tegen de 10.000-jaarlijkse overstroming.

In het kader van de periodieke veiligheidsherziening werden diverse theoretische stormscenario's gecombineerd met diverse overstromingsniveaus met terugkeerperiodes tussen de 1000 en 10.000 jaar, die aanleiding zou kunnen geven tot golfoverslag over de Scheldedijk.

Bijkomend werd een buitenontwerpsituatie bekeken waarbij het Scheldepeil nog eens 85 cm werd opgetrokken boven het ontwerppeil en dit in combinatie met een hypothetische dijkbreuk op de meest penaliserende locatie. De wateroverlast op de site die volgt uit deze beschouwing, alsook deze die volgt uit het golfoverslagfenomeen, kan opgevangen worden door het aanbrengen van een perimetrische bescherming van enkele tientallen centimeter hoogte aan de ingangen van de betrokken veiligheidsgebouwen.

Het vroegtijdig waarschuwingssysteem laat de kerncentrale van Doel trouwens toe om steeds tijdig preventieve maatregelen te nemen, gezien het trage karakter van een dergelijk natuurfenomeen.

7.1.3. Extreme weersomstandigheden

De verschillende extreme weersomstandigheden (hevige regenval, hevige wind, tornado's, bliksem, sneeuwval, hagel en extreme temperaturen) waarmee rekening werd gehouden bij het ontwerp van de eenheden en die geverifieerd werden tijdens de periodieke veiligheidsherzieningen hebben geen impact op de veilige werking van de eenheden.

7.1.4. Verlies van de elektrische voeding of de koudebron

Kerncentrale Tihange

Gezien de verschillende en redundante stroomvoorzieningsbronnen en koudebronnen die beschikbaar zijn, is elke reactoreenheid in Tihange zeer robuust wat dit betreft. Elke eenheid beschikt namelijk over:

- Drie externe stroomvoorzieningsbronnen;
- Twee onafhankelijke ultieme koudebronnen (rivierwater en alluviaal grondwater), en een bijkomende toegang tot kalksteenwater dat onafhankelijk is van het alluviaal grondwater;
- Minstens twee niveaus van (technisch en geografisch onafhankelijke) interne stroomvoorzieningsbronnen (in totaal, 16 dieselgeneratoren en een turboalternator), met brandstofautonomie van verschillende weken;
- Een turboveiligheidsvoedingswaterpomp voor elke eenheid;
- En verschillende koelwatercapaciteiten.

Daarenboven kunnen mobiele voorzieningen (stroomgeneratoren, flexibele buizen, afsluiters, enz… waarvan sommige volledig voorgeïnstalleerd zijn) ook zorgen voor de stroomvoorziening van de hoofduitrusting en de watertoevoer van de stoomgeneratoren en het primair systeem. Hun capaciteit en verbindingstijd werden ontworpen overeenkomstig de dynamiek van de situaties die geëvalueerd werden.

Bijgevolg wordt de koeling van de reactorkern en de splijtstofdokken gegarandeerd met een hoge zekerheidsgraad, zelfs in zeer ongewone gevallen, zoals verlies van de elektrische voeding of de koudebronnen. Als resultaat hiervan is het risico op een significante uitstoot in geval zich deze

extreme scenario's zouden voordoen verwaarloosbaar. Samenvattend kunnen we dus zeggen dat de eigen hulpmiddelen, alsook hun autonomie op de site toereikend zijn om gedurende lange tijd dit type ongevallen op te vangen en dat deze tijd voldoende is om terug elektrische voeding te krijgen via het extern net of de nodige hulpmiddelen van buiten de centrale aan te voeren.

Kerncentrale Doel

De eenheden Doel 1 en Doel 2 kunnen een beroep doen op drie onafhankelijke koudebronnen, die allemaal zelfstandig in staat zijn de centrales gekoeld te houden:

- de Schelde;
- atmosferische koeltorens met geforceerde trek;
- door de omgevingslucht gekoelde warmtewisselaars.

Ook de eenheden Doel 3 en Doel 4 kunnen een beroep doen op onafhankelijke koudebronnen, die allemaal zelfstandig in staat zijn de centrales gekoeld te houden:

- atmosferische koeltorens met geforceerde trek, met bijvulling vanuit de Schelde en de koelvijvers.
- 3 koelvijvers van elk 30.000 m^3.

Er zijn in elke eenheid 2 niveaus van interne elektrische voedingen. Deze 2 niveaus werken onafhankelijk van elkaar en zijn grotendeels fysisch van elkaar gescheiden. Voor de voeding van de veiligheidstuigen zijn er 19 dieselgeneratoren met in totaal een brandstofvoorraad voor enkele weken. Bovendien zijn de meeste dieselgeneratoren luchtgekoeld, waardoor ze onafhankelijk zijn van een externe koudebron.

Elke eenheid heeft bovendien een door een stoomturbine aangedreven pomp om koelwater te kunnen blijven leveren voor de stoomgeneratoren. Dit koelwater is beschikbaar in diverse tanks en de koelvijvers.

<u>Beide sites</u>
Er worden evenwel maatregelen overwogen om de robuustheid van de installaties op beide sites te verhogen, in het bijzonder door de elektriciteits- en watervoorziening te versterken via de volgende acties:

- uitvoering van haalbaarheidsstudies om de autonomie van het EAS-reservoir te verhogen, voor het toevoegen van een noodvoedingswaterpomp en voor het verzekeren van de stroomvoorziening voor de CTP- en RRA-pompen voor Tihange 1;
- studie voor de implementatie van extra instrumenten voor de monitoring van het waterniveau in de opslagdokken op de site van Tihange;
- versterking van de niet-conventionele middelen die gebruikt worden om de batterijen te herladen en sommige uitrustingen van stroom te voorzien (pompen, compressoren, afsluiters);
- nieuwe procedures of uitbreiding van de bestaande procedures (voeding voor de uitrusting met de niet-conventionele middelen, beheer van de splijtstofdokken, beperking van het verbruik van de noodgeneratoren in geval het uitwendig net langdurig onbeschikbaar is.)
- de nodige aansluitpunten voorzien op de aanzuiging en steek van de sproeipompen om met een mobiele pomp een alternatief sproeidebiet te kunnen realiseren (Doel 3 & 4).

7.1.5. Noodplanorganisatie en beheer van ernstige ongevallen

Tot op dit moment is de noodplanorganisatie van de exploitant gericht op het opvangen van gebeurtenissen op één eenheid op de site en op het beheersen van externe invloeden op de centrales zoals beschouwd in het ontwerp. De performantie van de noodplanorganisatie wordt regelmatig getest

en verbeterd tijdens oefeningen. De noodplanorganisatie kan ook een beroep doen op middelen en competenties bij overheidsdiensten, bij de Corporate organisatie en bij Tractebel Engineering.

Naar aanleiding van het ongeval te Fukushima, heeft ELECTRABEL haar noodplanorganisatie geëvalueerd om rekening te houden met situaties die sterk afwijken van de ontwerpongevallen die tot nog toe werden beschouwd: situaties die mogelijks meerdere eenheden tegelijk treffen, die een gedeelte van de noodplaninfrastructuur treffen of die de toegankelijkheid van de site of de bewoonbaarheid van lokalen beïnvloeden.

In dit opzicht werden er reeds meerdere beslissingen genomen of acties overwogen:

- De bedrijfskamer van de site te Tihange (COS) zal ondergebracht worden in een ondergrondse ruimte in het tegen de nieuwe DBE bestand zijnde toegangsgebouw dat uitgerust is met alle vereiste infrastructuur;
- Er zal een studie gelanceerd worden m.b.t. de wijziging en versterking van de noodplanorganisatie om volgens drie waarschuwingsniveaus te kunnen werken:
    - een "standaardniveau" (huidige organisatie);
    - een "alarmniveau" (preventieve maatregelen wanneer zich een voorspelbare noodtoestand aankondigt; zoals een overstroming die de ganse site kan treffen);
    - en een "hoog niveau" (onaangekondigde gebeurtenis die meerdere eenheden heeft getroffen). Voor het waarschuwingsniveau 'hoog' zal de noodplanorganisatie versterkt worden zodat het incident op het niveau van elke eenheid technisch beheerst kan worden.

  De huidige noodplanorganisatie van het Corporate niveau zal eveneens herzien en versterkt worden zodat deze – ten laatste binnen een termijn van maximum 24 uur- logistieke en technische taken kan opnemen en bijkomend personeel ter ondersteuning van de siteploegen kan organiseren.
- Er zal een studie worden uitgevoerd teneinde de mobiele middelen te optimaliseren, evenals waar ze gestockeerd zullen worden, rekening houdende met een analyse van de Extensive Damage Mitigation Guidelines (EDMG).
- Voor Doel zal er een off-site uitvalsbasis gedefinieerd worden van waaruit interventies op de site in geval van moeilijke toegankelijkheid van de site zullen georganiseerd worden.

Daarnaast werden de scenario's van ernstige ongevallen terug bestudeerd vanuit een "defense in depth" perspectief teneinde bijkomende maatregelen te definiëren om het risico op eventuele lozingen naar de omgeving als gevolg van een extreme situatie verder te verminderen (hoewel preventie nog steeds primeert).

In dit kader zullen ondermeer volgende maatregelen genomen worden:

- het lanceren van een haalbaarheidsstudie om elke eenheid te voorzien van een 'filtered containment vent';
- het lanceren van een studie om het restrisico van waterstofontwikkeling en –accumulatie in de splijtstofopslaggebouwen te beoordelen.
- het opvolgen van de R&D betreffende de problematiek van 'corium – beton' interacties.

7.1.6. Actieplan

De uitvoeringsplanning van de studies en de wijzigingen moet nog definitief worden vastgelegd. Dit zal gebeuren na een gedetailleerde evaluatie van de inhoud en gevolgen ervan, rekening houdend met de wisselwerking met andere nog lopende studie- en uitvoeringsprojecten, de beschikbare interne en externe middelen en de bevoorradings- en uitvoeringstermijnen op de site.

De bijgevoegde tabel bevat alle belangrijke acties voorgesteld door de exploitant samen met een deadline voor de uitvoering ervan. Sommige acties zullen al in 2012 voltooid worden (korte termijn).

Tabel 22: Samenvatting van het actieplan

	Doelstelling	**Toepasbaarheid**	**Acties**	**Indicatieve deadline**
1	Verbetering van de bescherming tegen externe bedreigingen (aardbevingen, overstromingen en extreme weersomstandigheden)	Tihange + Doel	Upgraden van de SSC van "laag" naar "medium" via berekening of aanpassing	2012-2013
		Tihange	Evaluatie van de opportuniteit van een versterking van het gebouw van de elektrische hulpdiensten ("BAE") van de eenheid van Tihange 1	2012
		Doel	Seismisch bestand maken van de Refueling Water Storage Tanks (RWST's) van Doel 1 en Doel 2.	2014
		Doel	Doel 1/2 : verhogen van de betrouwbaarheid van de watertoevoer naar de stoomgeneratoren in geval van een aardbeving (automatische start van de EF-pompen).	LTO project
		Tihange	Herziening van de overstroming opgenomen in de ontwerpbasis voor Tihange als resultaat van de periodieke veiligheidsherziening.	2012
		Tihange	Versnelling van acties die resulteren uit de periodieke veiligheidsherziening: 1. perifere bescherming van de site 2. lokale perimetrische bescherming 3. versterking van de niet-conventionele middelen	2014 2012-2013 2011-2012
		Doel	Perimetrische bescherming van de betrokken nucleaire veiligheidsgebouwen tegen overstroming	2012-2013
		Doel	Bijkomende dijkversterkingen	2012
2	Verbetering van de robuustheid van de elektrische voeding	Tihange + Doel	Alternatieve voeding (380 V) van niet-conventionele middelen of veiligheidsrelevante componenten (compressoren, pompen, afsluiters, …) met gebruik van aangepaste schuiven en kabels of via de bestaande elektriciteitsborden.	2012
		Tihange	Haalbaarheidsstudie om de pompen van de CTP- en RRA-koelsystemen van het SUR-systeem op Tihange 1 terug van stroom te voorzien	LTO project
		Tihange + Doel	Alternatieve stroomvoorziening (380 V) van de gelijkrichters in verscheidene gebouwen met nucleaire veiligheidssystemen, gebruikmakend van aangepaste schuiven en kabels of via de bestaande elektriciteitsborden	2011-2012
		Tihange + Doel	Op punt stellen van procedure om de brandstofconsumptie van de diesels te verminderen door niet-noodzakelijke tuigen te stoppen	2012
		Doel	Aankoop van een tankwagen om dieselbrandstof op de site te transporteren, en identificatie van de nodige aansluitpunten	2012

	Doelstelling	Toepasbaarheid	Acties	Indicatieve deadline
3	Verhoging van de robuustheid van de watertoevoervoorzieningen	Tihange	Haalbaarheidsstudie voor de verhoging van de autonomie van het EAS-hulpvoedingswaterreservoir op Tihange 1	LTO project
		Tihange	Haalbaarheidsstudie m.b.t. de toevoeging van een hulpvoedingswaterpomp op de eenheid van Tihange 1	LTO project
		Doel	Studie naar alternatieve bijvulmogelijkheden van veiligheidsrelevante waterreservoirs (AFW-, RW- en RN-koeltorens) met, zo nodig, bijkomende aansluitpunten.	2012-2013
		Doel	Afsluiters voorzien op de SP-sproeileidingen om met de SP-pompen naar de SC-kring te kunnen blijven injecteren als de RC-druk hoog wordt (Doel 1/2)	2014
		Doel	Aansluitpunten voorzien op de aanzuiging en steek van SP-pomp en aankoop mobiele pomp om alternatief SP-debiet te realiseren (Doel 3 en 4)	2014
		Doel	Studie van alternatieve bijvulmogelijkheden van splijtstofdokken (PL), met, zo nodig, bijkomende aansluitpunten	2012-2013
		Doel	Seismisch deel van FE-kring van Doel 1/2 uitbreiden en aansluitpunten voor FE voorzien op aanzuiging (rechtstreeks of via AFW-tank) van AFW-turbopomp	LTO project
4	Optimalisatie uitbating (= procedures)	Tihange	Wijziging van de "aardbevingsprocedure" bedoeld om de detectie van geïnduceerde overstromingen op de site sneller te detecteren	2012
		Tihange	Versnelde implementatie van de procedures m.b.t. de acties die resulteren uit de periodieke veiligheidsherzieningen m.b.t. overstroming	2012-2013
		Tihange + Doel	Opstelling van een procedure waarin de acties worden beschreven in geval van: 1. totaal verlies van interne of externe stroomvoorziening; 2. totaal verlies van de koudebronnen	2012-2013
		Tihange + Doel	Op punt stellen van procedures voor de uitlijning en indienstname van alternatieve elektrische voedingsbronnen	2012-2013
		Doel	Voltooiing van procedures voor de uitlijning en indienstname van een alternatieve watertoevoer	2012-2013
5	Versterking van de noodplanorganisatie	Tihange + Doel	Versterking van de interne noodplanorganisatie en -logistiek om rekening te houden met gebeurtenissen op verschillende eenheden: 1. beschrijving van de nieuwe organisatie; 2. implementatie van de nieuwe organisatie	Mid-2012 2013
		Tihange	Onderbrenging van de bedrijfskamer van de site (COS) in het nieuwe toegangsgebouw	2013
6	Beheering van zware ongevallen (SAM)	Tihange + Doel	Uitvoering van een voorstudie naar de installatie van een 'filtered containment vent' op alle eenheden (reeds aan de gang in het kader van het project LTO voor Doel 1/2 en Tihange 1)	2012
		Tihange + Doel	Evaluatie van de noodzaak om de niet-conventionele middelen uit te breiden, gebaseerd op de analyse van de Extensive Damage Mitigation Guidelines (EDMG)	2013
		Tihange + Doel	Evaluatie van het restrisico op H_2- productie en -accumulatie rond de splijtstofdokken	2012
		Tihange	Haalbaarheidsstudie m.b.t. de implementatie van bijkomende waterinjectie in de reactorput	2013

	Doelstelling	Toepasbaarheid	Acties	Indicatieve deadline
		Tihange + Doel	Opvolging van de R&D-activiteiten met betrekking tot de problematiek van de interactie tussen "corium-beton"	Continu
		Tihange	Studie voor de verbetering van de monitoring van het waterniveau in de dokken van alle eenheden	2012
7	**Niet-conventionele middelen ("NCM")**	Tihange	Haalbaarheidsstudie om een technische oplossing te vinden voor de waterbijvulling in het primair systeem van de eenheid van Tihange 3 in "primaire kring open" configuratie (motorpomp aangedreven door een niet-conventionele dieselgenerator)	2012

7.2. Samenvatting van de evaluatie en de bijkomende verbeteringen vereist door de veiligheidsautoriteit

De door de exploitant gekozen aanpak voor de herevaluatie van de veiligheid van zijn installaties beantwoordt aan de door de exploitant voorziene en door de veiligheidsautoriteit goedgekeurde methodologie.

De exploitant heeft de gebeurtenissen en combinaties van gebeurtenissen geherevalueerd die opgenomen waren in het Europese weerstandstestprogramma, met name aardbevingen, overstromingen, extreme weersomstandigheden, verlies van elektriciteitsvoorziening en ultieme koudebronnen en beheer van ernstige ongevallen.
In de evaluaties werd rekening gehouden met scenario's waarbij een enkele eenheid maar ook verschillende eenheden tegelijkertijd getroffen werden op dezelfde site. De tijdslijn van de gebeurtenissen werd beschreven en de mogelijke cliff-edge effecten werden geanalyseerd.

Over het algemeen is de robuustheid van de installaties bevredigend.

De belangrijkste veiligheidsprincipes zoals ´defence in depth`, redundantie van belangrijke veiligheidsuitrusting, hun fysische en geografische scheiding, evenals hun diversificatie, werden toegepast van bij de ontwerpfase en upgrades werden uitgevoerd op de oudste eenheden om zo hun robuustheid te verhogen wanneer ze geconfronteerd werden met scenario's waarmee in het oorspronkelijk ontwerp geen rekening werd gehouden. Waar nodig werden er ook structurele versterkingen uitgevoerd.

De herevaluaties die werden uitgevoerd na het ongeval in Fukushima tonen dat in alle voorziene scenario's de essentiële veiligheidsfuncties behouden blijven.

Toch heeft de exploitant een reeks technische, organisatorische en menselijke verbeteringen voorgesteld om de veiligheid van zijn installaties verder te verhogen en zo beter bestand te zijn tegen specifieke ongevalsomstandigheden, in het bijzonder voor de oudste eenheden.

Gebaseerd op de evaluatie van het verslag van de exploitant en de daaropvolgende technische vergaderingen en on-site inspecties, heeft de veiligheidsautoriteit de voorstellen van de exploitant aangevuld met bijkomende eisen en aanbevelingen waardoor de verbeteringsmogelijkheden binnen het toepassingsgebied van de Europese stresstests zullen worden uitgebreid.

De acties die worden voorgesteld door de exploitant en de bijkomende verbeteringen die vereist worden door de veiligheidsautoriteit zullen zo snel mogelijk geïmplementeerd worden, rekening houdende met de complexheid van de werkzaamheden die moeten worden uitgevoerd en hun belang voor de veiligheid van de installaties. Hiervoor zal de exploitant een geconsolideerd actieplan actualiseren en ambitieuze deadlines voorstellen die zullen worden besproken met de veiligheidsautoriteit.

Op deze basis zal de veiligheidsautoriteit een specifieke follow-up van de implementatie van het actieplan organiseren, met inbegrip van:

- Regelmatig actualiseren door de exploitant van de vorderingen van het actieplan die periodiek zullen worden meegedeeld aan de veiligheidsautoriteit,
- Periodieke informatievergaderingen tussen de veiligheidsautoriteit en de exploitant om de status van het actieplan te bespreken, evenals de mogelijke problemen/vertragingen;
- On-site inspecties door de veiligheidsautoriteit op een periodieke basis en ook na de belangrijkste verwezenlijkingen om op het terrein de fysieke vorderingen van de werkzaamheden na te gaan en hun overeenstemming met de verwachtingen te checken.

Deze follow-up zal de veiligheidsautoriteit de mogelijkheid bieden om de implementatie van het actieplan van de exploitant te controleren en te garanderen dat de verbintenissen van de exploitant op tijd worden nagekomen.

De inspecteurs van het FANC en Bel V zullen bij dit proces betrokken worden.

In de volgende paragrafen worden de bijkomende verbeteringen die door de veiligheidsautoriteit werden geïdentificeerd, herhaald.

7.2.1. Aardbeving

1 Voor alle zwakheden die geïdentificeerd werden tijdens de walkdowns (SSC beoordeeld met "lage" waarschijnlijkheidsgraad om hun integriteit te behouden en hun functie te kunnen uitvoeren tijdens een aardbeving die ernstiger is dan de RLE), heeft de exploitant gemeld dat er ofwel bijkomende onderzoeken zullen worden uitgevoerd, of dat er eenvoudige wijzigingen kunnen worden doorgevoerd. De exploitant moet een gedetailleerd actieplan voorzien met reeds ondernomen en nog geplande acties. Dit is tevens van toepassing op de haalbaarheidsstudies m.b.t. de versterking van het BAE-gebouw in Tihange 1.

2 Door het krappe tijdsbestek van de Europese stresstests, diende het PSHA-onderzoek van de KSB in korte tijd te worden uitgevoerd. Zoals voorgesteld door de KSB, zou de exploitant een meer gedetailleerd onderzoek moeten uitvoeren in de komende jaren met de gepaste aandacht voor (1) andere elementen, zoals het gebruik van een meer recente vergelijkingen voor de voorspelling van de grondbeweging, of zoals een "cumulative absolute velocity" (CAV) filtering, (2) externe reviews door internationale deskundigen en (3) resultaten die voortvloeien uit andere studies zoals het EG-project SHARE ("seismic hazard harmonization in Europe").

3 De exploitant moet zijn inspanningen verder zetten om de kennis m.b.t. mogelijke seismische interacties in de installaties verder te cultiveren. In het bijzonder moet er nauwkeurig aandacht worden besteed aan de strikte toepassing van de relevante procedures om de onderlinge interacties van stellingen met SSC die seismisch gekwalificeerd zijn, te vermijden.

7.2.2. Overstroming

Kerncentrale Tihange

1 De exploitant dient een veiligheidsmarge te voorzien voor de eerste verdedigingslijn om zo adequaat de onzekerheden te dekken die verband houden met een 10.000-jaarlijkse overstroming (de muur van de perifere bescherming zou bijgevolg hoger moeten worden ontworpen dan het vloedniveau dat mogelijk is bij een 10.000-jaarlijkse overstroming).

2 Voor het overstromingsrisico zou een verdere verbetering van de noodplanstrategie en -organisatie, met inbegrip van de bijbehorende procedures, geïmplementeerd moeten worden tegen midden 2012.

3 De robuustheid van de huidig geïnstalleerde niet-conventionele middelen (NCM), d.i. het zogenaamde Ultimate Means Circuit (CMU) zou verder moeten worden verbeterd:

- Gezien het CMU op dit ogenblik nodig is voor overstromingen die de referentieoverstroming van 2615 m³/s overschrijden (dwz. overstromingen met een terugkeerperiode van meer dan 100 tot 400 jaar), zou de exploitant specifieke maatregelen moeten bepalen die toepasbaar zijn op veiligheidsrelevante uitrusting (tests, onderhoud, inspecties, …).
- De huidig geïmplementeerde alternatieve vermogensbronnen voor de I&C-systemen en noodverlichting zouden, daar waar nodig, verder verbeterd moeten worden en de

toereikendheid van de beschikbare of herstelde I&C-uitrusting voor de veilige controle van de drie eenheden zou moeten worden nagegaan.
- De technische karakteristieken van deze niet-conventionele middelen (NCM) zouden de ongunstige (weers)omstandigheden waaraan ze worden onderworpen tijdens de ganse werkingsperiode het hoofd moeten kunnen bieden. Wanneer dit niet in het ontwerp werd voorzien, moet er een gepaste bescherming of compenserende strategie worden ontwikkeld.

4 De robuustheid van de huidige geïmplementeerde noodplanstrategie en -organisatie zou verder moeten worden verbeterd m.b.t. de volgende aspecten:
- Het overstromingsalarmsysteem, dat gebaseerd is op een rechtstreekse communicatie tussen de regionale dienst bevoegd voor de voorspelling van het debiet van het Maasbekken (SETHY, dat gebruik maakt van een specifiek voorspellingssysteem) en de kerncentrale (waarbij Tihange 2 het single point of contact is en verantwoordelijke is voor het verwittigen van Tihange 1 en Tihange 3), is een cruciale factor. Daarom zouden de robuustheid en de doeltreffendheid ervan verder moeten worden verbeterd, en in het bijzonder:
  - Zou het protocol tussen de kerncentrale Tihange en SETHY zo snel mogelijk moeten worden geformaliseerd.
  - Zou de exploitant regelmatig tests moeten uitvoeren op de beveiligde communicatiekanalen en de overgedragen gegevens (dwz on-line metingen en voorspellingen van rivierdebieten).
  - Zou de exploitant noodplanoefeningen moeten organiseren waarbij zowel de kerncentrale als het personeel van SETHY betrokken zijn.
  - Zouden de criteria die gebruikt worden om het intern noodplan te lanceren en de alarmfase en de bijbehorende acties van start te doen gaan ondubbelzinnig gedefinieerd moeten worden in de noodprocedures die van toepassing zijn.
- Middelen voor het vervoer op de site van personeel en van uitrusting naar en binnen de eenheden of van een eenheid naar een andere, terwijl de site overstroomd is, zouden verder moeten worden geïmplementeerd en in aanmerking worden genomen in de noodplanstrategie.

5 Interne risico's die mogelijk geïnduceerd worden door de overstroming (brand, explosie) zouden moeten worden onderzocht en bijkomende maatregelen zouden, daar waar nodig, moeten worden getroffen (bv. omdat het automatisch brandblussysteem beschadigd wordt door een overstroming die hoger is dan de "referentieoverstroming"). Een mogelijk defect van het Ultimate Means Circuit (CMU) in geval van een brand die veroorzaakt werd, in het bijzonder door de afhankelijkheden wanneer het CMU verbonden wordt met het brandblussysteem (CEI), zou moeten worden onderzocht en mogelijke zwakke punten zouden moeten worden verholpen.

Kerncentrale Doel

1. De technische kenmerken van de niet-conventionele middelen (NCM) die gebruikt kunnen worden in geval van een overstroming van de veiligheidsrelevante gebouwen (voor alle mogelijke oorzaken) zouden de ongunstige (weers)omstandigheden waaraan ze worden onderworpen tijdens de ganse werkingsperiode het hoofd moeten kunnen bieden. Wanneer dit in het ontwerp niet werd voorzien, zou er een gepaste bescherming of compenserende strategie moeten worden ontwikkeld.

2. Verbetering van de procedures na een aardbeving (I-QM-01): na een aardbeving moet er snel en visueel worden nagegaan of er overstroming door het overlopen van de koeltorenbakken (bv. te wijten aan een obstructie van de afvoer) aan de gang is, of nakend is. In dat geval moeten de CW-pompen snel worden gestopt.

3. Gezien er uit recente inspecties is gebleken dat er locaties zijn waar de dijken de minimale vereiste hoogte benaderen (Technisch Specificatiecriterium), zouden er regelmatiger inspecties

van de dijkhoogtes moeten worden uitgevoerd (bv. om de twee jaar en minstens om de vijf jaar ipv om de tien jaar) om zo het risico op een overdadige overslag over de dijken te vermijden die wordt veroorzaakt door windgolven bij overstromingen die bij de ontwerpbasis werden voorzien (overslag over de dijken kan voorkomen met terugkeerperiodes van meer dan 300 jaar).

7.2.3. Extreme weersomstandigheden

1. De herevaluatie van de capaciteit van het rioleringssysteem (vijf gescheiden netwerken in Doel, gescheiden netwerken per eenheid in Tihange), waarbij gebruik wordt gemaakt van een gedetailleerd hydrodynamisch model, moet zowel kortdurende hevige regenval als langdurige regenval dekken (95^{e} percentiel) met terugkeerperiodes tot 100 jaar. Daarenboven moeten er voor de bepaling van een dergelijke 100-jarige regenval, observaties van regenintensiteiten over een voldoende lange tijdsspanne worden gebruikt, met inbegrip van de laatste observaties (bv. de uitzonderlijke regenval van 23 augustus 2011). Afhankelijk van de resultaten moeten er mogelijke verbeteringen van het rioleringssysteem worden gepland en het actieplan van de exploitant zal daar waar nodig overeenkomstig worden geactualiseerd.

2. Gezien het feit dat zeer zware tornado's de laatste jaren in de naburige landen (klasse EF4 op de uitgebreide Fujitaschaal) konden worden waargenomen, zou de robuustheid van de systemen van het tweede niveau van Doel 1/2 en Tihange 1 bevestigd moeten worden in geval van een buitenontwerptornado met windsnelheden van meer dan 70 m/s (250 km/h).

7.2.4. Verlies van elektriciteitsvoorziening en verlies van de ultieme koudebron

1. De bedrijfsparaatheid van de niet-conventionele middelen zou moeten aangetoond worden op basis van technische gegevens (ontwerp, werking, uitlijning en aansluitingen, periodieke tests, preventief onderhoud enz.).

2. De technische kenmerken van de niet-conventionele middelen (NCM) zou moeten rekening houden met de ongunstige (weers)omstandigheden waaraan zij tijdens de volledige periode van gebruik kunnen worden blootgesteld.

3. In samenwerking met ELIA, beheerder van het hoogspanningsnet, zou de exploitant een haalbaarheidsstudie moeten uitvoeren om tot een betere geografische spreiding van de hoogspanningsleidingen (380 en 150 kV) te komen en zo de betrouwbaarheid van de externe stroomvoorziening van de kerncentrales te verhogen. Bovendien zou de exploitant er in overleg met ELIA voor moeten zorgen dat, in geval van een LOOP, de kerncentrales de hoogste prioriteit krijgen en dat de stroomvoorziening van deze centrales eerst wordt hersteld. De veiligheidsautoriteit zal de nodige stappen ondernemen (in samenwerking met andere bevoegde instanties) om erop toe te zien dat deze eis wordt nageleefd.

4. Met betrekking tot het scenario "Volledige SBO" zou de mogelijke overvulling of het leegkoken van de stoomgeneratoren door verlies van ultieme perslucht moeten worden onderzocht.

5. Met betrekking tot het scenario "Volledige SBO" zou de bedrijfsparaatheid van de AFW-turbopomp na verlies van ventilatie in de turbopompzaal moeten worden onderzocht.

6. Bij (volledige) station black-out zou de exploitant moeten nagaan of alle containmentpenetraties tijdig kunnen worden afgesloten en of de betrokken isolatiesystemen van het containment operationeel blijven, meer in het bijzonder bij stilstand. Er zou moeten

worden nagegaan of de sassen voor personeel en materieel kunnen worden afgesloten. Deze thema's moeten worden verwerkt in de procedure "Volledige station black-out".

7. De exploitant moet aantonen dat de watercapaciteit (hoeveelheid koelwater voor de verbruikers en debiet) van het tweede veiligheidsniveau voldoende groot is wanneer alle eenheden van de site getroffen worden door het verlies van primaire UHS. Indien nodig zou een strategie moeten worden ontwikkeld om het waterverbruik te optimaliseren.

8. Voor Tihange zou de exploitant de noodverlichting moeten verbeteren in de diverse zalen en op plaatsen waar de operators moeten werken tijdens de diverse scenario's.

9. Met betrekking tot het scenario "Verlies van primaire UHS" moet de exploitant in 2012 oplijnings- en werkingstests van de diepe noodwatervangstations in de rivierbedding van de Maas uitvoeren (voor Tihange 2 en 3).

10. Met betrekking tot het scenario "Verlies van primaire UHS" zou de exploitant moeten aantonen dat de noodwatervangstations van Tihange 2 en 3 beschikbaar zijn (toegankelijkheid, bedrijfsparaatheid en uitlijning) overeenkomstig de eisen van US NRC RG 1.27.

11. De exploitant zou twee configuraties moeten evalueren voor de splijtstofdokken:
    a. configuratie waarbij een splijtstofelement in het reactorbassin wordt behandeld tijdens een "Volledige SBO". Het splijtstofelement zou manueel in een veilige positie moeten worden gebracht. De exploitant zou de maatregelen moeten onderzoeken (hardware-installaties, procedures, verlichting enz.) die nodig zijn voor deze configuratie;
    b. configuratie met verlies van waterinventaris in de splijtstofdokken. De internationale ervaring heeft al uitgewezen dat er bepaalde problemen zijn met het ontwerp van de hevelbrekers in de splijtstofdokken. In geval van pijpbreuk kan een te kleine capaciteit van de hevelbrekers tot gevolg hebben dat gebruikte splijtstofelementen snel worden blootgelegd. De exploitant zou dit veiligheidsprobleem moeten onderzoeken.

7.2.5. Beheer van ernstige ongevallen

1. De adequaatheid van de procedurele richtlijnen (BK-procedures voor Doel en richtlijnen voor het beheer van ernstige ongevallen voor Tihange) om het hoofd te bieden aan een ernstig ongeval werd geëvalueerd door de exploitant waarbij hij hoofdzakelijk vertrouwt op het feit dat deze procedures geïnspireerd werden door de filosofie van de "severe accident management guidelines" (WOG SAMG) van de Westinghouse owners group, dat ze regelmatig worden geactualiseerd en gevalideerd worden in het kader van de periodieke veiligheidsherzieningen.
   Toch moeten de volgende aspecten van deze procedures nog worden verbeterd:
   - de BK-procedures voor Doel zouden moeten worden aangevuld met langetermijntoezichts- en uitstaprichtlijnen, zoals die reeds bestaan voor Tihange (SAEG-1 and SAEG-2);
   - in sommige BK-procedures voor Doel wordt verwezen naar de (verschillende) FR-procedures voor de verklaring van de aanbevolen methodes. Deze constante overschakeling tussen verschillende procedures zou moeten worden vermeden en daarom zouden de BK-procedures meer zelfdragend moeten zijn en alle informatie bevatten die nodig is voor hun toepassing;
   - een zuurgraad berekeningsinstrument binnen het containment zou moeten worden toegevoegd aan de BK/SAMG-procedures voor de bepaling van de zuurgraad van het water in de sterfput op basis van de waterhoeveelheden die gebruikt worden tijdens het beheer van het ongeval, waarbij rekening wordt gehouden met alle andere fysische en chemische processen die de pH beïnvloeden; dit instrument zou tevens

gebruikt kunnen worden als een controle en back-up voor een specifiek bemonsteringssysteem;
- een instrument voor het ondersteunen van beslissingen (tabel/stroomdiagram) zou moeten worden toegevoegd aan de BK/SAMG-procedures om zo snel en nauwkeurig mogelijk de (meest waarschijnlijke) locatie van een lekpad van de containment te kunnen aanwijzen gebaseerd op de uitlezing van bepaalde detectoren en om de meest gepaste acties te bepalen om een verspreiding van splijtingsproducten te beperken. Deze aanpak zou de opstelling van mobiele detectoren op specifieke locaties kunnen inhouden;
- de BK-procedures zouden kwantitatieve criteria moeten kunnen verschaffen m.b.t. geselecteerde sleutelparameters om snel te kunnen arbitreren tussen de afvoer van de restwarmte en de isolatie van een lek in de recirculatieleidingen;
- een instrument voor het ondersteunen van beslissingen zou moeten worden toegevoegd aan de BK-procedures om te kunnen arbitreren tussen de injectie in de primaire kring en het sproeien binnen het containmentgebouw.

2. De exploitant zou er ook moeten op letten dat de noodplanopleiding en de bijscholingscursussen van Tihange en deze van Doel zo veel mogelijk op elkaar worden afgestemd (die verschillen in duur en frequentie).

3. Voor Doel vermeldt de exploitant dat de mogelijkheid van een stoomexplosie wanneer er corium uit het reactorvat terechtkomt in een reactorput die onder water staat, zeer klein is en dus kan worden verwaarloosd; dit is gebaseerd op verschillende experimenten die werden uitgevoerd als onderdeel van internationale onderzoeksprogramma's die dit fenomeen niet konden creëren.
   Voor Tihange (wanneer de reactorput niet onder water staat vooraleer er een zich een breuk in het reactorvat voordoet) stelt de exploitant dat een haalbaarheidsstudie naar een systeem waardoor water in de reactorput kan worden geïnjecteerd, zal worden uitgevoerd.
   De exploitant zou evenwel de aan de gang zijnde stoomexplosie-experimenten nauwlettend moeten opvolgen en zo nodig zouden de huidige strategieën voor het onder water zetten van de reactorput vooraleer er een breuk komt in het reactorvat nog moeten worden aangepast.

4. De exploitant zou tevens de noodzaak moeten onderzoeken om nieuwe voorzieningen aan te brengen die nuttig zouden kunnen zijn voor het beheer van ernstige ongevallen (pH-metingen in de sterfputten, temperatuurmetingen op de bodem van het reactorvat voor de controle naar een eventuele kernsmelting). De bijbehorende hardwarewijzigingen om deze aspecten te verbeteren, zouden daar waar ze toepasselijk zijn moeten worden uitgevoerd.

5. De exploitant zou de effectieve middelen moeten identificeren om de pH te controleren binnen het containmentgebouw na een ernstig ongeval. Deze vereiste is van toepassing in de vroegste stadia van het ongeval en tevens op lange termijn. Voor het beheer van de langetermijnfase van een ernstig ongeval zou de exploitant rekening moeten houden met de impact die andere acties voor het beheer van ernstige ongevallen kunnen hebben op de mogelijkheid van de bijvulling van de NaOH tank en de mogelijkheid van maatregelen die geen verband houden met NaOH-injectie om de pH in de sterfput te beïnvloeden in basische richting.

6. Als verdere diversificatie van de beschikbare strategieën voor het beheer van een ernstig ongeval zou een optimale batterij "load shedding" strategie (voor een zo lang mogelijke levensduur van de batterijen en bijgevolg een zo lang mogelijke beschikbaarheid van de vitale uitrusting voor het beheer van ernstige ongevallen) moeten worden ontwikkeld en toegevoegd aan de ERG-procedures (voorkomen van ernstig ongeval) en aan de BK/SAMG-procedures (mitigatie ernstig ongeval).
   Een berekenings- en beslissingsondersteuningsinstrument zou parallel moeten bestudeerd worden om de spanningsafnemers te bepalen die kunnen worden afgestoten, de extra batterijautonomie die kan worden verkregen door het afschakelen van bepaalde spanningsafnemers, de functies voor het beheer van ernstige ongevallen die verloren zullen

gaan door de afschakelen van bepaalde spanningsafnemers en de alternatieven die kunnen worden overwogen om het verlies van elke specifieke functie voor het beheer van ernstige ongevallen (gedeeltelijk) te compenseren.

7. De exploitant zou de technische specificaties van de kerncentrales moeten herzien om een betere beschikbaarheid van de nooduitrusting van het tweede niveau te garanderen. In het bijzonder de maximaal toegelaten stilstandtijden en de tijdslimieten voor het opnieuw in gebruik nemen zouden moeten geherevalueerd en gerechtvaardigd worden, met inachtname van de betrokken risico's.

8. De exploitant zou de bijkomende middelen (met inbegrip van de niet-conventionele middelen) moeten beschouwen als veiligheidsrelevante uitrusting, zolang ze een sleutelrol vervullen in de preventie, detectie en/of de mitigatie van een ernstig ongeval (defence in depth). In deze context zal de exploitant de specifieke voorzieningen bepalen die daar waar nodig, van toepassing zijn op deze uitrusting (opname in de technische specificaties, inspecties en tests, preventief onderhoud…).