

Monitoring



Hoofdstuk 16



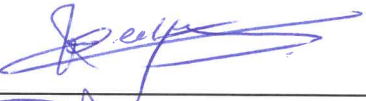
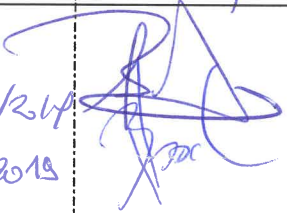

Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

De tweede versie van dit hoofdstuk werd geschreven door J. Craeybeckx (Belgoprocess). Het hoofdstuk is herwerkt door V. Cauwels (NIRAS)

Het hoofdstuk werd nagekeken door W. Cool (NIRAS), W. Bastiaens (NIRAS), L. Wouters (NIRAS), E. Coppens (NIRAS), K. Remeysen (TRACTEBEL) en E. Weetjens (SCK•CEN)

Het hoofdstuk werd goedgekeurd door R. Bosselaers (NIRAS) en B. Van Assche (NIRAS)

Goedkeuring document		
Goedkeuring	Datum	Handtekening
Geschreven door: VANESSA CAUWELS	30-01-2019	
Nagekeken door: WIM COOL EEF WEETJENS	30/01/2019 30/01/2019	 
Goedgekeurd door: RUDY BOSSELAERS BART VAN ASSCHE	30/01/2019 30/01/2019	 

NIRAS

Kunstlaan 14
1210 Brussel

www.nirond.be

De gegevens, resultaten, besluiten en aanbevelingen in dit rapport zijn eigendom van NIRAS. Dit rapport mag worden aangehaald mits het vermelden van de bron. Het wordt beschikbaar gesteld op voorwaarde dat het niet gebruikt wordt voor commerciële doeleinden. Elk commercieel gebruik, inclusief het kopiëren en heruitgeven ervan, vereist de voorafgaande schriftelijke toestemming van NIRAS.

Documentgegevens			
Hoofdstuk 16 Monitoring Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel			
Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen NIRAS Kunstlaan 14 1210 Brussel			
Serie	Categorie A	Document type	NIROND-TR
Status	Open	Publicatie datum	30 januari 2019
NIRAS rapport nummer	NIROND-TR 2011-16	Herzienings nummer	Versie 3
Sleutelwoorden	Categorie A, oppervlakteberging, veiligheid, vergunningsaanvraag, monitoring, toezicht		

Tabel met wijzigingen																						
Versie		Commentaren en overzicht van wijzigingen ten opzichte van vorige versie																				
Nummer	Datum																					
1	30/11/2011	Initiële versie voor <i>Peer Review</i> en overgemaakt aan FANC																				
2	30/09/2012	Versie ingediend bij het FANC samen met de vergunningsaanvraag tot oprichting en exploitatie (A1) van de oppervlaktebergingsinrichting voor categorie A-afval in Dessel																				
3	30/01/2019	<p>Herziene versie rekening houdend met de vragen van het FANC en Bel V op versie 2</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Vraag nr.</th> <th style="text-align: left;">Titel</th> <th style="text-align: left;">Nodige aanpassingen aan veiligheidsrapport</th> <th style="text-align: left;">Aangepaste § in HS16</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;">HS16-001</td> <td style="vertical-align: top;">Te meten parameters en link met de veiligheidsevaluatie</td> <td style="vertical-align: top;">Het hoofdstuk moet een systematisch overzicht geven van de verschillende indicatoren en kritieke parameters met betrekking tot de langetermijnveiligheid die gevolgd zullen worden tijdens de verschillende fasen van de bergingsinstallaties. Het belang van deze parameters voor de langetermijnveiligheid moet uitgelegd worden</td> <td style="vertical-align: top;">§ 16.2.4</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="vertical-align: top;">Verduidelijken dat met monitoring een opvolging in de tijd van parameters bedoeld wordt, terwijl QC aspecten ter bevestiging van SSC's en afval aan bod komen in HS07, HS08 en HS15</td> <td style="vertical-align: top;">§ 16.1.1</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">HS16-002</td> <td style="vertical-align: top;">Beschrijving van de referentiesituatie</td> <td style="vertical-align: top;">Het hoofdstuk moet aangevuld worden met een systematisch overzicht van de referentietoestanden en -waarden</td> <td style="vertical-align: top;">§ 16.4.7 Tabel 16-12 § 16.5.9 Tabel 16-19</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">HS16-003</td> <td style="vertical-align: top;">Corrigerende maatregelen rond de inspectiekamers</td> <td style="vertical-align: top;">De paragraaf met betrekking tot monitoring in de inspectieruimte en de daarmee gepaard gaande mogelijke vaststellingen en maatregelen moet uitgebreid worden</td> <td style="vertical-align: top;">§ 16.5.2 § 16.5.3</td> </tr> </tbody> </table>	Vraag nr.	Titel	Nodige aanpassingen aan veiligheidsrapport	Aangepaste § in HS16	HS16-001	Te meten parameters en link met de veiligheidsevaluatie	Het hoofdstuk moet een systematisch overzicht geven van de verschillende indicatoren en kritieke parameters met betrekking tot de langetermijnveiligheid die gevolgd zullen worden tijdens de verschillende fasen van de bergingsinstallaties. Het belang van deze parameters voor de langetermijnveiligheid moet uitgelegd worden	§ 16.2.4			Verduidelijken dat met monitoring een opvolging in de tijd van parameters bedoeld wordt, terwijl QC aspecten ter bevestiging van SSC's en afval aan bod komen in HS07, HS08 en HS15	§ 16.1.1	HS16-002	Beschrijving van de referentiesituatie	Het hoofdstuk moet aangevuld worden met een systematisch overzicht van de referentietoestanden en -waarden	§ 16.4.7 Tabel 16-12 § 16.5.9 Tabel 16-19	HS16-003	Corrigerende maatregelen rond de inspectiekamers	De paragraaf met betrekking tot monitoring in de inspectieruimte en de daarmee gepaard gaande mogelijke vaststellingen en maatregelen moet uitgebreid worden	§ 16.5.2 § 16.5.3
Vraag nr.	Titel	Nodige aanpassingen aan veiligheidsrapport	Aangepaste § in HS16																			
HS16-001	Te meten parameters en link met de veiligheidsevaluatie	Het hoofdstuk moet een systematisch overzicht geven van de verschillende indicatoren en kritieke parameters met betrekking tot de langetermijnveiligheid die gevolgd zullen worden tijdens de verschillende fasen van de bergingsinstallaties. Het belang van deze parameters voor de langetermijnveiligheid moet uitgelegd worden	§ 16.2.4																			
		Verduidelijken dat met monitoring een opvolging in de tijd van parameters bedoeld wordt, terwijl QC aspecten ter bevestiging van SSC's en afval aan bod komen in HS07, HS08 en HS15	§ 16.1.1																			
HS16-002	Beschrijving van de referentiesituatie	Het hoofdstuk moet aangevuld worden met een systematisch overzicht van de referentietoestanden en -waarden	§ 16.4.7 Tabel 16-12 § 16.5.9 Tabel 16-19																			
HS16-003	Corrigerende maatregelen rond de inspectiekamers	De paragraaf met betrekking tot monitoring in de inspectieruimte en de daarmee gepaard gaande mogelijke vaststellingen en maatregelen moet uitgebreid worden	§ 16.5.2 § 16.5.3																			

		<p>HS16-004 Vraag tot de opvolging van hydrogeologische aspecten site in de tijd</p> <p>Het hoofdstuk moet uitgebreid worden met de specificaties van het monitoringprogramma dat als doel heeft om voor, tijdens en na de bouw te bevestigen dat de vooropgestelde stroomrichtingen en – snelheden geldig blijven, ondanks mogelijke verstoringen tijdens de bouw</p>	<p>§16.4.11</p>
		<p>HS14-002 Bevestiging stroomsnelheid/stroomrichting</p> <p>De verderzetting van de metingen in de toekomst ter bevestiging van de stroomsnelheid en stroomrichting van het grondwater moet worden opgenomen in het hoofdstuk</p>	<p>§ 16.4.11</p>
		<p>HS12-OD096-002 Besmettingsmeting voor overgang gele naar groene zone</p> <p>De manier waarop besmettingsmetingen uitgevoerd zullen worden in de gele zone moet verduidelijkt worden in het hoofdstuk</p>	<p>§ 16.4.5.2</p> <p>§ 16.4.8.2</p> <p>Tabel 16-11</p>
		<p>HS02-001 Dosis en risicobeperking</p> <p>Verduidelijken dat er een dosisbeperking van 0,1 mSv/a gehanteerd wordt</p>	<p>§ 16.4.9.3</p>
		<p>HS03-005 Gebruik term “Veiligheidsautoriteit”</p> <p>Waar nodig, de term FANC vervangen door ‘veiligheidsautoriteit’</p>	<p>Overall in het hoofdstuk</p>
		<p>HS11-001 Criteria voor de opheffing van de nucleaire reglementaire controle</p> <p>Beschrijving van de rol van monitoring in de beslissing tot opheffing van de nucleaire reglementaire controle conform maken aan de voorwaarde 3 uit het antwoord</p>	<p>§ 16.2.1.2</p>
		<p>HS04-002/2 en HS04/002/6 Ontbrekende elementen</p> <p>Voor een overzicht van de referentietoestanden van de radiologische parameters met betrekking tot de luchtkwaliteit en de biosfeer wordt in hoofdstuk 4 verwezen naar hoofdstuk 16</p>	<p>§ 16.4.7</p>
		<p>Fiche 12 Gelaagde bescherming</p> <p>Beschrijving controlemaatregelen consistent maken met argumentatie gelaagde bescherming</p>	<p>§ 16.5.5</p> <p>§ 16.6.1</p> <p>§ 16.5.2</p> <p>§ 16.5.3</p>

	<p>Overige aanpassingen:</p> <hr/> <p>Nodige aanpassingen aan Aangepaste § in HS16 veiligheidsrapport</p> <hr/> <p>Terminologie: gebruik van geotransferfactor in plaats van dilutiefactor Overall in het hoofdstuk</p> <hr/> <p>Coherentie bewaren met Hoofdstuk 9 en Hoofdstuk 8 Figuur 16-5</p> <hr/> <p>Vermijden van herhaling: samenvoegen van teksten over de actieniveau's § 16.2.3 en § 16.4.9</p> <hr/> <p>OD-132 wordt niet langer gebruikt als ondersteunend document. De noodzakelijke informatie moet dan ook opgenomen worden in dit hoofdstuk § 16.4.9, § 16.4.5.6</p> <hr/> <p>Er is een verwijzing opgenomen naar het monitoringprogramma van de proefafdekking § 16.2.1.3</p> <hr/> <p>De justificatie voor de duur voor het operationeel houden van het drainagesysteem werd aangepast § 16.6.6</p> <hr/> <p>Aanpassingen aan het radiologisch monitoringprogramma, aanpassing aan de frequentie van staalname en analyse van de sedimenten Tabel 16-13 Tabel 16-14 Tabel 16-16 Tabel 16-17</p> <hr/> <p>Aanpassingen aan de actieniveau's conform het KB van 31 mei 2016 en schrappen van de onderzoeksniveaus § 16.4.9.3</p> <hr/>
--	---

Inhoudsopgave

16	Monitoring	16-1
16.1	Inleiding en doelstellingen	16-1
16.1.1	Verklaring van de begrippen ‘monitoring’ en ‘toezicht’	16-2
16.2	Strategie voor het ontwikkelen van het monitoring- en toezichtsprogramma	16-3
16.2.1	Doelstellingen	16-3
16.2.1.1	Bevestigen van de conformiteit met de wettelijke voorschriften en met de vergunningsvoorwaarden	16-3
16.2.1.2	Monitoring van de installatie en de omgeving ter ondersteuning van beslissingen	16-3
16.2.1.3	Verbeteren van het begrip van het gedrag van het bergingssysteem en zijn omgeving	16-5
16.2.2	Gehanteerde principes	16-6
16.2.3	Wat wordt er met de resultaten gedaan?	16-7
16.2.4	Op te volgen kritieke parameters met betrekking tot langetermijnveiligheid	16-7
16.3	Beheersysteem met betrekking tot monitoring en toezicht	16-20
16.3.1	Continuïteit van de benodigde middelen	16-20
16.3.2	Kwaliteitsborging	16-20
16.3.3	Geïntegreerd databeheer	16-22
16.3.4	Rapportering	16-22
16.4	Beschrijving en justificatie van het radiologische monitoringprogramma	16-23
16.4.1	Inleiding	16-23
16.4.2	Beschouwde blootstellingsscenario’s en blootstellingswegen	16-23
16.4.2.1	Operationele veiligheid	16-23
16.4.2.2	Langetermijnveiligheid	16-24
16.4.3	Types van radiologische monitoring	16-24
16.4.4	Radionucliden en voorlopers van radiologische contaminatie	16-25
16.4.5	Type media	16-27
16.4.5.1	Dosis(tempo) monitoring	16-29
16.4.5.2	Bemonstering van aërosolen en gassen in omgevingslucht	16-31
16.4.5.3	Bemonstering van radon in omgevingslucht	16-31
16.4.5.4	Bemonsteringscampagne van bodemprofielen	16-32
16.4.5.5	Depositiebemonstering	16-32
16.4.5.6	Bemonstering grondwater, oppervlaktewater en sedimenten	16-32
16.4.5.7	Voor- en nadelen analyse met betrekking tot de installatie van observatieputten in de afdekking en de hierbij gepaarde invloed op de langetermijnveiligheid	16-35

16.4.6	Type van monitoring versus type media	16-35
16.4.7	Referentietoestanden	16-37
16.4.8	Beschrijving van het radiologisch monitoringprogramma	16-49
16.4.8.1	Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de pre-operationele periode en de constructiefase	16-49
16.4.8.2	Het radiologisch monitoring programma tijdens de exploitatiefase Ia	16-52
16.4.8.3	Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de exploitatiefase Ib	16-55
16.4.8.4	Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de sluitingsfase (fase II)	16-57
16.4.8.5	Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de nucleaire reglementaire controlefase	16-59
16.4.9	Data-analyse en responssysteem	16-59
16.4.9.1	Routine data-analyse	16-59
16.4.9.2	Overschrijding van actieniveaus	16-60
16.4.9.3	Definiëring van actieniveaus	16-61
16.4.9.4	Mogelijkheden tot wijziging van de data analyse en de actieniveaus	16-62
16.4.10	Kritieke monitoringsactiviteiten met betrekking tot veiligheid	16-62
16.4.11	Periodieke update van de geotransferfactoren	16-63
16.4.11.1	Monitoring van de stroomsnelheid	16-63
16.4.11.2	Monitoring van de stroomrichting	16-64
16.4.11.3	Monitoring van meteorologische parameters	16-65
16.4.11.4	Monitoring van het waterdebiet in de omliggende waterlopen	16-66
16.5	Beschrijving en justificatie van het fysiek toezicht en structurele monitoring	16-66
16.5.1	Monitoring van de monolieten	16-66
16.5.1.1	Getuigemonolieten	16-66
16.5.1.2	Proefstukkamers	16-69
16.5.2	Toezicht op de inspectieruimtes	16-69
16.5.2.1	De inspectierobot	16-69
16.5.2.2	Correctieve maatregelen	16-71
16.5.2.3	Voor- en nadelen analyse met betrekking tot monitoring en zijn invloed op operationele- en langetermijnveiligheid	16-72
16.5.3	Monitoring en toezicht van de modules	16-72
16.5.3.1	Inleiding	16-72
16.5.3.2	Module instrumentatie	16-73
16.5.3.3	Visueel toezicht	16-74
16.5.4	Monitoring van de globale zettingen en verplaatsingen van de modules	16-74
16.5.4.1	Inleiding	16-74
16.5.4.2	Meetsystemen	16-74

16.5.5	Toezicht op de afdekking	16-75
16.5.5.1	Topografische metingen	16-75
16.5.5.2	Fysiek toezicht	16-76
16.5.6	Controle van de waterniveaus in de WCB	16-76
16.5.7	Andere monitoringsaspecten	16-76
16.5.7.1	Weerstation	16-76
16.5.7.2	Sneeuw dikte	16-77
16.5.7.3	Accelerometers	16-77
16.5.7.4	Controle van het dak	16-78
16.5.7.5	Waterniveaus	16-78
16.5.8	Alarmniveaus	16-78
16.5.9	Referentietoestanden	16-79
16.6	Beschrijving en justificatie van de monitoring van het drainagewater	16-81
16.6.1	Rollen van het drainagesysteem	16-81
16.6.2	Beschrijving van het drainagesysteem	16-81
16.6.3	Voor- en nadelen analyse met betrekking tot monitoring en zijn invloed op operationele- en langetermijnveiligheid	16-81
16.6.4	Controle van drainagewater	16-82
16.6.5	Te monitoren parameters	16-83
16.6.6	Justificatie duur van operationeel houden drainagesysteem	16-84
16.6.7	Referentietoestanden	16-84
16.7	Beschrijving en justificatie van de monitoring van de proefafdekking	16-85
16.7.1	Inleiding en rol van de proefafdekking	16-85
16.7.2	Beschrijving van het monitoringsysteem	16-87
16.7.2.1	TDR meetsysteem	16-87
16.7.2.2	Niet-invasieve geofysische metingen	16-89
16.7.2.3	Initiële en evolutieve karakterisering van de proefafdekking	16-89
16.7.2.4	Zettingen, verplaatsingen, bodemerosie, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora	16-89
16.7.2.5	Drainagebuizen in de proefafdekking	16-89
16.7.3	Referentietoestanden	16-90
16.8	Referenties hoofdstuk 16	16-90
16.8.1	Lijst van referenties	16-90
16.8.2	Lijst van ondersteunende documenten	16-91
	Bijlage 16-1: Lijst van gebruikte afkortingen	16-92

16 Monitoring

16.1 Inleiding en doelstellingen

Het monitoring- en toezichtsprogramma beschrijft de elementen van controle en toezicht op de oppervlaktebergingsinrichting en –site. Daarbij komen de volgende elementen aan bod: doelstellingen die door metingen kunnen/moeten geverifieerd worden, type metingen, periodiciteit/frequentie van de metingen, opvolging van de metingen, opvolgen van trends, toekomstige bijstellingen van het monitoringprogramma, actieniveaus alsook te nemen maatregelen bij overschrijding van deze niveaus.

Met dit programma en de data die eruit voortvloeien kan de overeenstemming met de gestelde hypothesen in de veiligheidsevaluaties bevestigd worden en indien nodig verbeterd of gepreciseerd worden om de onzekerheden op de kritieke parameters met betrekking tot de langetermijnveiligheid te kunnen beheersen (§16.2.4).

De informatie in dit hoofdstuk is gebaseerd op de volgende hoofdstukken:

- Hoofdstuk 3 voor een beschrijving van het beheerssysteem;
- Hoofdstuk 4 voor een beschrijving van de karakteristieken van de site en haar omgeving;
- Hoofdstuk 5 voor een beschrijving van de kennis van de fenomenologie van de kunstmatige barrières;
- Hoofdstuk 6 voor een beschrijving van het afval;
- Hoofdstukken 7 en 8 voor een beschrijving van het ontwerp en de constructie van respectievelijk de bergingscolli en de berging;
- Hoofdstuk 12 voor een beschrijving van de stralingsbescherming;
- Hoofdstuk 13 voor een beschrijving van de evaluatie van de operationele veiligheid;
- Hoofdstuk 14 voor een beschrijving van de evaluatie van de langetermijnveiligheid;
- Hoofdstuk 15 voor een beschrijving van de conformiteitscriteria voor bergingscolli.

Het hoofdstuk maakt ook gebruik van de volgende ondersteunende documenten:

- OD-177 over structurele monitoring;
- OD-218 over de vrijzetting van radon in de oppervlaktebergingsinstallatie;
- OD-237 met de lijst van plannen voor monitoring- en staalnamelocaties;
- OD-244 over de studie van de radiologische toestand van de site Mol-Dessel;
- OD-245 over het oriënterend bodemonderzoek uitgevoerd in 2008;
- OD-257 over de evaluatie van de rechtstreekse stralingsbelasting op de terreinen bestemd voor de toekomstige bergingsinstallatie voor categorie A afval op de grens van Dessel en Mol.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de parameters die in het kader van het toezichts- en monitoringprogramma zullen worden gemeten. Voor de bevestiging van veiligheidsfuncties, hypothesen en essentiële parameters van de veiligheidsevaluatie via specifieke ontwerpvereisten, ontwerpinputs en conformiteitscriteria (QC aspecten) tijdens constructie en inbedrijfstelling verwijzen we naar [HS-08] § 8.3.1, § 8.7 en § 8.8.

Het voorgestelde monitoringprogramma in dit hoofdstuk is in lijn met IAEA aanbeveling [R16-1] en nationale en internationale richtlijnen [R16-4], [R16-5], [R16-17] en [R16-18].

16.1.1 Verklaring van de begrippen ‘monitoring’ en ‘toezicht’

Controle is elke activiteit waarbij wordt nagegaan of een vereiste gerespecteerd wordt.

Institutionele controle is het geheel van controle-activiteiten, uitgevoerd door een gezagsdrager of een wettelijk aangeduide instelling, evenals de aangewende middelen om deze activiteiten uit te voeren.

Nucleaire reglementaire controle is institutionele controle door de bevoegde overheidsinstellingen inzake nucleaire veiligheid, beveiliging en non-proliferatie, of door een daartoe gevolmachtigde instelling

Monitoring: Een middel om institutionele controle uit te voeren, bestaande uit het geheel van activiteiten waarbij parameters, op continue of periodieke basis, worden opgemeten, in het kader van een opvolging van hun evolutie in de tijd (bv. periodieke opvolging omgevingsparameters).

Toezicht: Een middel om institutionele controle uit te voeren, bestaande uit het geheel van activiteiten waarbij (i) parameters, op éénmalige of gelimiteerde basis, worden opgemeten binnen het QA/QC programma ter bevestiging van de conformiteit met de vereiste criteria van de SSC's en het afval ([HS-07] § 7.4, [HS-08] § 8.7 en [HS-15]) en (ii) de integriteit van de installatie wordt geverifieerd met als doel de bescherming en het behoud van de passieve beschermingsmaatregelen (bv. periodieke fysieke inspecties).

16.2 Strategie voor het ontwikkelen van het monitoring- en toezichtsprogramma

16.2.1 Doelstellingen

Met resultaten en analyses van resultaten van het monitoring- en toezichtsprogramma voor de bergingssite worden de volgende doelstellingen beoogd:

- Bevestigen van de conformiteit met de wettelijke voorschriften en vergunningsvoorwaarden;
- Via een opvolging van de installatie en de omgeving, en via de verificatie dat het bergingssysteem zich gedraagt zoals voorzien en in het bijzonder dat de reële condities in overeenstemming zijn met de veiligheidsfuncties, hypothesen, essentiële parameters en resultaten uit de veiligheidsevaluaties, het ondersteunen van beslissingen zoals:
 - de overgang naar volgende fases of periodes in het leven van de berging;
 - het aanbrengen van wijzigingen aan het veiligheidsdossier (bijvoorbeeld bevestiging en/of verfijning van hypothesen);
 - het opstarten van remediërende maatregelen;
 - Verbeteren van het begrip van het gedrag van het bergingssysteem en zijn omgeving.

16.2.1.1 Bevestigen van de conformiteit met de wettelijke voorschriften en met de vergunningsvoorwaarden

Tot het moment van de opheffing van de nucleaire reglementaire controle over de bergingsinrichting, moet monitoring aantonen dat de bergingsinrichting in overeenstemming is met de voorwaarden vastgelegd in de voorschriften en vergunningen.

Met betrekking tot de radiologische veiligheid zijn de wettelijke voorschriften terug te vinden in het ARBIS [R16-16], in het Koninklijk Besluit van 30 november 2011 [R16-5] en in de FANC nota [R16-17].

De vergunningsvoorwaarden voor de berging vormen specifieke voorwaarden van uitbating en voorwaarden voor het afval opdat de radiologische veiligheid gegarandeerd zou blijven.

16.2.1.2 Monitoring van de installatie en de omgeving ter ondersteuning van beslissingen

In een gefaseerd bergingsprogramma wordt het bergingssysteem onderworpen aan periodieke veiligheidsherzieningen waarin de veiligheid gedurende de huidige en alle toekomstige fasen wordt beoordeeld. Een monitoring- en toezichtsprogramma kan daartoe bijdragen door:

- Informatie te leveren ter ondersteuning van dergelijke beoordelingen, in elke fase tijdens de levensduur van het bergingssysteem;
- De beslissingen te staven over wanneer (of hoe en zelfs of) tot de volgende fase kan worden overgegaan.

Deze informatie omvat onder andere de opvolging dat het bergingssysteem zich gedraagt binnen de performantie-enveloppe (zettingen, waterhuishouding in de installatie, insluiting van radionucliden ...).

Het monitoring programma wordt periodiek geherevalueerd.

Overgang van de pre-operationele periode naar de constructiefase

De doelen van monitoring tijdens de pre-operationele periode zijn:

- bijdrage tot site-evaluatie;
- invoerdata leveren voor het ontwerp van de berging;
- invoerdata leveren voor de veiligheidsevaluaties;
- vastleggen van de referentiewaarden;
- input leveren bij het ontwerp van het operationeel monitoring- en toezichtsprogramma.

Tijdens de pre-operationele periode wordt de site gekarakteriseerd en worden een aantal referentiemetingen uitgevoerd, in het bijzonder voor parameters en/of plaatsen waarvoor verstoringen zouden kunnen optreden door constructie-activiteiten. Daarnaast worden de verdere referentiemetingen tijdens de constructie vastgelegd. Tevens worden sleutelparameters met betrekking tot SSC's en afval geïdentificeerd samen met de mogelijkheden tot verificatie van deze sleutelparameters. Een constructie monitoring- en toezichtsprogramma wordt hiertoe opgesteld.

Tevens worden voorstellen gemaakt van de monitoring- en toezichtsprogramma's voor de exploitatie- en sluitingsfase en de periode na sluiting.

Overgang van de constructiefase naar de exploitatiefase Ia

Voor elke SSC die belangrijk is voor de veiligheid, zijn passende codes en normen bepaald, rekening houdende met het belang ervan voor de veiligheid. Waar dat relevant is, zijn conformiteitscriteria bepaald met betrekking tot de ontwerpvereiste die van toepassing is op de SSC. Met de conformiteitscriteria kan bij realisatie van de SSC's afgetoetst worden dat aan de ontwerpvereisten voldaan is. Vooraleer de bergingsinstallatie in dienst gesteld kan worden (start exploitatiefase) dienen de conformiteitscriteria voor de SSC's afgetoetst te worden. ([HS-08] § 8.3.1).

Overgang van de exploitatiefase Ia naar de exploitatiefase Ib

Vooraleer bergingscolli in de bergingsinstallatie geplaatst worden, dient de overeenstemming met de conformiteitscriteria voor bergingscolli ([HS-15]) aangetoond te zijn. Ook dient toezicht gehouden te worden dat het plaatsen van afval in de bergingsinstallatie verloopt volgens de vooropgestelde procedures en specificaties ([HS-09] § 9.3.3 en § 9.3.4 en [HS-15]).

Een doel van het monitoring- en toezichtsprogramma tijdens deze fase is het verifiëren dat de SSC's hun operationele functies vervullen en in staat blijven hun functies tijdens volgende fasen te vervullen.

Overgang van de exploitatiefase Ib naar de sluitingsfase

Tijdens de aanvang van de exploitatiefase Ib wordt de dakstructuur vervangen door een afdekking. Daarbij dient bij de realisatie, door middel van conformiteitscriteria, afgetoetst te worden dat voor de verschillende SSC's van de afdekking aan de ontwerpvereisten voldaan is ([HS-08] § 8.3.1).

Tijdens de exploitatiefase Ib zullen observaties uitgevoerd worden in de proefstukkamers, drainagesysteem en inspectieruimte. Deze geven een indicatie over de performantie van de berging. Wanneer de performantie na verloop van tijd voldoende bevestigd is kan overgegaan worden naar de sluitingsfase. Dit houdt in dat de inspectieruimtes en -galerij volledig worden opgevuld.

Dit is een belangrijke stap die de mogelijkheid tot directe monitoring en bevestiging van de performantie (insluitingscapaciteit) van het bergingssysteem vermindert. Daarom wordt deze stap pas genomen als er via observaties voldoende vertrouwen verkregen werd in de performantie van het bergingssysteem (§10.4 [HS-10]).

Beëindigen van de sluitingsfase door afdichting van installatie en monitoringsystemen in de installatie

Voordat de sluitingsfase beëindigd kan worden dient de performantie van de afdichting bevestigd te worden via testen. Pas dan kan worden overgegaan tot de nucleaire reglementaire controlefase. Uitwendig zullen de nodige metingen, inspecties en toegangscontroles blijven plaatsvinden gedurende de nucleaire reglementaire controlefase.

Opheffing van de nucleaire reglementaire controle

De beslissing tot opheffing van nucleaire reglementaire controle zal onder andere genomen worden op basis van de evolutie in de tijd van de monitoringsresultaten en de te bevestigen indicatoren. Het gaat a minima over het radiologisch monitoring programma tijdens de nucleaire reglementaire controlefase (§ 16.4.8.5) en de overeenkomstige actieniveaus en over de bevestiging van de geotransferfactor (§ 16.4.11).

De cartografie van de activiteit van de verschillende radionucliden in de berging zoals verkregen en gemonitord tijdens de exploitatiefase vormt een tweede belangrijk instrument voor beslissing tot opheffing van nucleaire reglementaire controle [HS-11] § 11.3.1.

Het aanbrengen van wijzigingen aan het veiligheidsdossier

Monitoringactiviteiten dienen niet alleen ter ondersteuning van de beslissing om over te gaan tot de volgende fase in het leven van de berging, maar ook voor beslissingen met betrekking tot eventuele wijzigingen die aangebracht moeten worden aan het veiligheidsdossier.

Het opstarten van remediërende maatregelen

Verder dient het monitoring- en toezichtsprogramma ter ondersteuning van beslissingen tot het opstarten van remediërende maatregelen tijdens de verschillende fases van het bergingsprogramma. Meer specifiek baseert men zich op overschrijdingen van actieniveaus (zie § 16.4.9.2) of waargenomen trends welke afwijken van de langetermijnevaluaties voor bepaalde te monitoren parameters.

16.2.1.3 Verbeteren van het begrip van het gedrag van het bergingssysteem en zijn omgeving

De proefopstellingen met betrekking tot zettingen, de modules en de afdekking zijn elementen die bijdragen tot een beter begrip van het bergingssysteem en zijn omgeving. Dergelijke opstellingen bieden ook een unieke kans om de monitoringtechnieken te verifiëren op hun performantie onder reële of representatieve condities. Details over de zettingsproef, zijn opgenomen in Hoofdstuk 4 ([HS-04] §4.7.4). De constructietechnieken van de modules en het gebruik van de demonstratieproef daarin wordt besproken in Hoofdstuk 8 ([HS-08], §8.6.1.2). Het monitoringprogramma van de proefafdekking, wordt verder toegelicht in dit hoofdstuk, §16.7.

De kennis van de omgeving wordt verder verbeterd door onder andere een voortzetting van de metingen van aardbevingen, hydrogeologische metingen en specifieke meteorologische metingen.

- Het voortzetten van de metingen van aardbevingen levert bijkomende datapunten op welke gebruikt worden en vergeleken worden met de niveaus waarvoor de installatie ontworpen werd, zie verder §16.5.7.3 en [HS-04] § 4.5.4.
- Een belangrijke parameter om de langetermijnimpact te kwantificeren is de geotransferfactor. Het periodiek actualiseren van de geotransferfactor gebeurt onder andere op basis van hydrogeologische metingen die verder toegelicht worden in §16.4.11.
- Het starten van specifieke meteorologische metingen naar aanleiding van de modelleringen van de proefafdekking levert extra informatie betreffende neerslaghoeveelheden en frequenties op alsook gegevens betreffende surface run-off, evapotranspiratie en effectieve infiltratie van neerslag. Deze gegevens zijn niet enkel voor de proefafdekking van belang, maar een beter begrip en een betere kwantificatie van bovengenoemde processen kan tevens bijdragen tot het verfijnen van de grondwatermodellen. Het monitoringprogramma van de proefafdekking wordt verder toegelicht in §16.7.

16.2.2 Gehanteerde principes

Volgende algemene principes worden gehanteerd:

- Het installeren, gebruiken en ontmantelen van monitoringsystemen mag de (langetermijn)veiligheid van de installatie nooit in het gedrang brengen. Anderzijds moet de omvang van het monitoringsysteem voldoende zijn om het volledige bergingssysteem te monitoren, en dit op die plaatsen, en voor die parameters die relevant zijn voor het voldoen aan de veiligheidsdoelstellingen. Indien de veiligheid beïnvloed wordt, is een risicoanalyse van de voor- en nadelen noodzakelijk.
- De langetermijnbescherming van mens en milieu mag niet afhangen van een actief monitoringsysteem. Op lange termijn kan men er immers niet op rekenen dat deze monitoringsactiviteiten blijvend worden uitgevoerd. De langetermijnveiligheid moet worden verzekerd door het passieve bergingssysteem zelf.
- Voorkeur wordt gegeven aan monitoringsystemen die verplaatsbaar en gemakkelijk vervangbaar zijn. Indien dit minder het geval is, wordt er voorkeur gegeven aan monitoringsystemen die passief en robuust zijn, zodat er een voldoende vertrouwen is dat ze correct zullen werken gedurende hun voorziene levensduur. Een inschatting zal gemaakt worden over de te ondernemen acties bij het tijdelijke of definitieve uitvallen ervan. De geschatte levensduur van de gebruikte instrumentatie zal beschreven staan in de specificaties bij aanschaf.
- Bij de inplanting van het monitoringsysteem moeten sommige meet- of observatiepunten zo gekozen worden dat men zo snel mogelijk kan reageren; dit noemt men de alertheid van het monitoringsysteem. Enkele voorbeelden:
- Aangezien men in het huidige concept voor oppervlakteberging sterk de nadruk heeft gelegd op de kunstmatige barrières, ernaar strevend het afval zoveel mogelijk in te sluiten binnen het bergingssysteem, wordt het monitoringsysteem zo dicht mogelijk bij het afval ingeplant om relevante metingen te kunnen vaststellen. Dit om onder andere niet voorziene snelle degradaties aan SSC's

reeds in een vroeg stadium te ontdekken. Een belangrijk onderdeel van het monitoringsysteem is dan ook de monitoring van het drainagewater onderaan de modules (§ 16.6).

- Ook voor het monitoren van de omgeving is de plaats van inplanting, en dus de alertheid van het systeem, zeer belangrijk. Voor de plaatsbepaling voor de monitoring van het grondwater baseert men zich op de bevestiging van de grondwatermodellering die toelaat de richting en omvang van een eventuele gecontamineerde pluim te bepalen. Deze informatie is noodzakelijk om te weten waar men het snelst een detecteerbare concentratie zal opmeten. Vandaar het belang van het opvolgen van stroomsnelheid en –richting (§16.4.11.1 en §16.4.11.2).
- Het monitoring- en toezichtsprogramma dient te bestaan uit verschillende elkaar aanvullende metingen. Dit komt tegemoet aan volgende punten:
 - het vermijden van niet-detectie van eventuele blootstellingen;
 - het verhogen van de robuustheid monitoringprogramma (continuïteit van monitoring en toezicht bij enkelvoudig falen).
 - Blijvende beschikbaarheid van alle gegevens uit het monitoring- en toezichtsprogramma, gedurende het volledige leven van de bergingsinrichting. Dit houdt o.a. in dat de database op regelmatige basis aangevuld wordt en dat de database regelmatig op actuele informatiedragers overgezet wordt.
 - Een open communicatie over gegevens uit het monitoring- en toezichtsprogramma en te ondernemen acties bij afwijkingen. Dit houdt o.a. in dat gegevens voor externen toegankelijk gemaakt worden, en dat adequate procedures ingevoerd worden voor goedkeuring van gegevens en te realiseren acties en registraties daarvan in de database.

16.2.3 Wat wordt er met de resultaten gedaan?

De resultaten van de te monitoren operationele parameters kunnen directe of indirecte informatie geven over de doelstelling van monitoring.

Indien ze directe informatie leveren, kunnen er voor deze *gemonitorde* parameters actieniveaus vastgelegd worden (bijvoorbeeld metingen van dosistempri door externe bestraling). Voor meer informatie over actieniveau's wordt verwezen naar § 16.4.9.2.

16.2.4 Op te volgen kritieke parameters met betrekking tot langetermijnveiligheid

Opdat het belang voor de langetermijnveiligheid van de te meten parameters duidelijk wordt, is in Tabel 16-1 weergegeven:

- wat de specifieke veiligheidsfuncties, hypothesen en essentiële parameters van de veiligheidsevaluatie zijn die via een opvolging in de tijd binnen het monitoringprogramma bevestigd moeten worden
- welke parameters hiertoe gemeten zullen worden.

De tabellen Tabel 16-2, Tabel 16-3, Tabel 16-4 en Tabel 16-5 bevatten informatie over de verschillende indicatoren en kritieke parameters die gevolgd zullen worden met betrekking tot de langetermijnveiligheid tijdens de verschillende fasen uit het leven van de berging. Voor een overzicht van

de essentiële parameters en hypothesen voor de langtermijnveiligheid en de geplande opvolging en controle, zie Hoofdstuk 14 ([HS-14], §14.13).

Tabel 16-1 – Overzicht van de parameters die van belang zijn voor de langetermijnveiligheid

Specifieke veiligheidsfunctie of hypothese/parameter van de veiligheidsevaluatie	Elementen die leiden tot de invulling hiervan	Parameter(s) die gemeten zullen worden
Hypothese: R2a ¹ rol van de aarden afdekking door begroeiing op afdekking en systeem "infiltratiebarrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusie laag en ophoging aan de zijdes"	<p>Vegetatie op biologische laag of, bij lokale degradaties, bio-intrusie laag</p> <p>Lage hydraulische geleidbaarheid klei</p> <p>Hoge hydraulische geleidbaarheid zand</p> <p>Helling tussen klei en zand (gravitaire afstroming)</p>	<p>In de proefafdekking zal de infiltratie doorheen de aarden afdekking opgevolgd worden (zie § 16.7).</p> <p>De evolutie van de hydraulische eigenschappen van de klei zal worden gekarakteriseerd door staalname gedurende de hele levensduur van de proefafdekking (zie § 16.7).</p> <p>In de proefafdekking worden verschillende diktes en samenstellingen van de biologische laag getest en op basis van de resultaten zal het ontwerp van de biologische laag en zijn begroeiing verder geoptimaliseerd worden.</p>
Hypothese: Beschermende rol (en invulling van de R2a rol ¹) van de aarden afdekking tijdens fases Ib, II, III en IV.	<p>Aanwezigheid en dikte van de aarden afdekking</p> <p>Weerstand tegen ontwerpbelastingen</p> <p>Weerstand tegen perturbatie door fauna en flora</p> <p>Weerstand tegen erosie</p>	<p>Opvolging van in-situ seismologische gegevens (zie § 16.5.7.3 en HS04, §4.5.4) tijdens de constructiefase en fases Ia en Ib, om</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ de bekomen gegevens te vergelijken met de aannames waarvoor de stabiliteit van de aarden afdekking bevestigd werd ■ een inspectiecampagne op te zetten indien blijkt dat de seismische risicoanalyse gebaseerd is op een onderschatting van de invoerdata <p>Topografische metingen en fysiek toezicht op de proefafdekking tijdens fase Ia om anomalieën met betrekking tot bodemerosie, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora te kunnen vaststellen (zie § 16.7).</p> <p>Topografische metingen op de aarden afdekking tijdens fases Ib, II en III (zie § 16.5.5.1).</p> <p>Fysiek toezicht op de aarden afdekking tijdens fases Ib, II en III om anomalieën met betrekking tot bodemerosie, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora te kunnen vaststellen (zie § 16.5.5.2).</p> <p>Monitoring via het drainagesysteem en de inspectierobot tijdens fase Ib om de aanwezigheid van sporen van water te detecteren (R2a-rol¹; zie § 16.6 en § 16.5.2).</p>
Hypothese: verwachte levensduur cementgebonden componenten (1 000 jaar)	Stabiliteit van de modules (geen grote differentiële zettingen)	<p>Monitoring van de zettingen en verplaatsingen van de modules tijdens fase Ia (zie § 16.5.4)</p> <p>Topografische metingen op de afdekking tijdens fases Ib, II en III (zie § 16.5.5.1)</p>

¹ De infiltratie die doorheen de proefafdekking gemeten wordt betreft de infiltratie doorheen een intacte afdekking met gras begroeid en voor de huidige klimaatomstandigheden. Die infiltratie wordt als dusdanig niet als parameter gebruikt in de veiligheidsevaluaties in Hoofdstuk 14. Zolang de aarden afdekking haar beschermende rol kan blijven spelen, vervult ook de ondoorlatende topplaat haar R2a functie. Zolang de ondoorlatende topplaat haar fysieke integriteit behoudt, is ze bepalend voor de watersinijpeling in het systeem omdat de (gesatureerde) hydraulische geleidbaarheid ervan lager is dan die van de bovenliggende lagen van de aarden afdekking (§5.2.1.3 en §5.1.2.1 [HS-5]). Het radionuclidentransport is in dat geval diffusie-gedomineerd.

Specifieke veiligheidsfunctie of hypothese/parameter van de veiligheidsevaluatie	Elementen die leiden tot de invulling hiervan	Parameter(s) die gemeten zullen worden
	<p>Weerstand tegen ontwerpbelastingen, statische en dynamische belastingen</p>	<p>Opvolging van in-situ seismologische gegevens (zie § 16.5.7.3 en [HS-04] § 4.5.4) tijdens de constructiefase en fases la en lb om:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ de bekomen gegevens te vergelijken met de aannames waarvoor de installatie ontworpen werd. ■ een inspectiecampagne op te zetten indien blijkt dat de seismische risicoanalyse gebaseerd is op een onderschatting van de invoerdata. <p>Monitoring via de inspectierobot tijdens fases la en lb om onverwachte afwijkingen te kunnen vaststellen (§ 16.5.2.1)</p>
	<p>Trage carbonatatiesnelheid van componenten uit klassiek gewapend beton (in ingegraven omstandigheden)</p>	<p>Meting carbonatatiefront getuigemonolieten en proefstukken tot aan de sluitingsfase (§ 16.5.1.1)</p>
	<p>Carbonatatie als degradatiemechanisme dat de verwachte levensduur van cementgebonden componenten bepaalt</p>	<p>Opvolging getuigemonolieten en proefstukken tot aan de sluitingsfase (§ 16.5.1.1): carbonatatiefront, verificatie van afwezigheid van thaumasiet en secundaire ettringiet, dimensionele veranderingen en spanningen (te wijten aan belasting en veroudering), corrosiepotentiaal</p>
	<p>Afwezigheid van doorgaande scheuren in betonnen componenten</p>	<p>Opvolging getuigemonolieten en proefstukken tot aan de sluitingsfase (§ 16.5.1.1): verificatie van afwezigheid van doorgaande scheuren</p> <p>Monitoring via de inspectierobot tijdens fases la en lb om onverwachte afwijkingen te kunnen vaststellen (§ 16.5.2.1)</p>
	<p>R2a-rol van de ondoorlatende topplaat en de modulewanden</p>	<p>Monitoring via het drainagesysteem en de inspectierobot tijdens fase lb om de aanwezigheid van sporen van water te detecteren (§ 16.6 en § 16.5.2.1)</p>
<p>Parameter/hypothese: geotransferfactor voor een hypothetische waterput aan de voet van de oostelijke tumulus</p>	<p>Toekomstig klimaat</p> <p>Waterstromingspatronen in de omgeving van de berging</p>	<p>Waterpeilen, stroomrichtingen en stroomsnelheden in peilbuizen in de omgeving van de berging tot het einde van de nucleaire reglementaire controlefase (§ 16.4.11)</p>

Tabel 16-2 – Indicatoren en kritieke parameters met betrekking tot de langetermijnveiligheid, die tijdens de *constructiefase* gemonitord zullen worden.

Constructiefase										
Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/ indicator	Sectie/tabel/ nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiveringswijze data	Archivering meetstalen
Radiologisch monitoring-programma	Referentietoestand	Referentietoestand in de omgeving, zodat mogelijke verstoringen uit berging kunnen gedetecteerd worden	Zie Tabel 16-12 – Overzicht van de referentietoestanden							
	Bevestigen van geotransferfactoren gebruikt in de veiligheidsevaluaties	Bevestigen van geotransferfactoren gebruikt in de veiligheidsevaluaties	Zie § 16.4.11							
Fysiek toezicht en structurele monitoring (voor QC aspecten zie [HS08] § 8.8)	Bevestigen levensduur beton en stabiliteit afdekking	Hypothese m.b.t. de beschouwde aardbevingen voor het ontwerp van betonnen componenten en voor de analyse van de stabiliteit van de afdekking	In-situ seismologische gegevens + interpretatie van data a.d.h.v. modellen	[HS04] § 4.5.4	Omgeving bergingssite	Continu	Momentopname	Seismometers	Opvolging door Koninklijke Sterrewacht België in het kader van hun seismometer-netwerk	Niet van toepassing

Tabel 16-3 – Indicatoren en kritieke parameters met betrekking tot de langetermijnveiligheid die tijdens de *exploitatiefase Ia* gemonitord zullen worden.

Exploitatiefase Ia										
Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/ indicator	Sectie/tabel/ nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiverings wijze data	Archivering meetstalen
Radiologisch monitoring-programma	Bevestiging van beoogde performantie	Radiologische en chemische toestand in de omgeving zodat verstoringen uit de berging kunnen gedetecteerd worden (en die niet door het drainagesysteem gedetecteerd worden)	Zie § 16.4.8.2 Tabel 16-14	§16.4	Zie § 16.4.8.2 en [OD-237] Plannen "APDMON GCTE007A", "APDMON GCTE008A" en APDMON GCTE013A	Zie §16.4.8.2 Tabel 16-14	Moment-opname	Zie § 16.4.8.2 Tabel 16-14	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie § 16.3.3	Niet van toepassing
	Bevestigen van geotransferfactoren gebruikt in de veiligheids-evaluaties	Bevestigen van geotransferfactoren gebruikt in de veiligheidsevaluaties	Zie § 16.4.11							
Monitoring van het drainagewater	Bevestiging van beoogde performantie	Detectie van mogelijke problemen	Hoeveelheid water Parameters in water Zie § 16.6.5 en Tabel 16-20	§ 16.6	§ 16.6	Continu Bij aanwezigheid water	Moment-opname	Zie § 16.6.5 en Tabel 16-20	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

Exploitatiefase Ia										
Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/ indicator	Sectie/tabel/ nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiverings wijze data	Archivering meetstalen
Monitoring van de inspectieruimte	Bevestiging van beoogde performantie	Detectie van mogelijke problemen	Visuele inspectie van de inspectieruimte en het aanwezige gedeelte van het drainagesysteem	§16.5.2	Inspectieruimtes	<ul style="list-style-type: none"> ■ Voor modules in opvulling: jaarlijks ■ Voor modules grenzend aan modules in opvulling: 2-jaarlijks ■ Voor reeds opgevlude modules: 4-jaarlijks 	Moment-opname	Inspectierobot	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
			Uitvoeren van besmettingsmetingen in geval van water of sporen van water aanwezig in de inspectieruimte	§16.5.2	Inspectieruimtes	Bij aanwezigheid water of sporen van water	Moment-opname	Wrijfmonsters	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
Proefafdekking	Bevestigen van de beoogde performantie	R2a rol van de aarden afdekking	Infiltratie doorheen de aarden afdekking	§ 16.7.2	§ 16.7.2	Continu	Cumulatief	Drainagesysteem in de proefafdekking	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
			Vochtgehalte van lagen binnen de aarden afdekking	§ 16.7.2	§ 16.7.2	Continu	Cumulatief	TDR-sonde	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
						Te Bepalen	Moment-opname	Grondradar		

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

Exploitatiefase Ia										
Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/ indicator	Sectie/tabel/ nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiverings wijze data	Archivering meetstalen
			Hydraulische geleidbaarheid van de klei en de evolutie ervan	§ 16.7.2	§ 16.7.2	Bouw + na 3, 6, 9, 12, 15, 20 en 25 jaar	Moment-opname	Staalname	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
		Vaststellen van zettingen en verplaatsingen door topografische metingen	Zettingen en verplaatsingen	§ 16.7.2	§ 16.7.2	Initieel maandelijks, zal daarna dalen met de tijd	Moment-opname	Observatie, inclinometer en theodoliet	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
		Vaststellen bodemerosie, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora door fysiek toezicht	Vervormingen, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora	§ 16.7.2	§ 16.7.2	Maandelijks	Moment-opname	Visueel	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
Fysiek toezicht en structurele monitoring	Bevestigen levensduur beton	Carbonatatie opvolgen	Carbonatatiefront	§ 16.5.1 [OD-177] § 2.1; § 2.2 en § 2.3	Proefstukken, getuigemonolieten	Om de 2 à 5 jaar	Cumulatief	Kernboringen of boorstof	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
	Bevestigen levensduur beton	Druksterkte-evolutie	Druksterkte-evolutie van het beton en/of mortel	§ 16.5.1 [OD-177] § 2.1; § 2.2 en § 2.3	Proefstukken, getuigemonolieten in proefstukkamers	Om de 2 à 5 jaar	Cumulatief	Drukproef	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

Exploitatiefase Ia											
Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/ indicator	Sectie/tabel/ nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiverings wijze data	Archivering meetstalen	
	Bevestigen levensduur beton	Uitsluiten andere degradatieprocessen beton	Verificatie van afwezigheid van thaumasiet en secundaire ettringiet, druksterkte, dimensionele veranderingen en spanningen (te wijten aan belasting en veroudering), porositeit op proefstukken, corrosiepotentiaal in proefstukken en getuigemonolieten	§ 16.5.1 [OD-177] § 2.1; § 2.2 en § 2.3	Proefstukken, getuigemonolieten in proefstukkamers	Om de 2 à 5 jaar	Cumulatief	§ 16.5.1.1	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing	
	Bevestigen afwezigheid grote differentiële zettingen	Opvolgen van zettingen en verplaatsingen	Zettingen en verplaatsingen	§ 16.5.4	§ 16.5.4.2	Continu Trimestrieel	Cumulatief	Totalstation-metingen, Theodolieten en prisma's	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing	
	Bevestigen levensduur beton en stabiliteit afdekking	Hypothese m.b.t. de beschouwde aardbevingen voor het ontwerp van betonnen componenten en voor de analyse van de stabiliteit van de afdekking	In-situ seismologische gegevens + interpretatie van data a.d.h.v. modellen	§16.5.7.3 , [OD-177] § 3.3 en [HS04] § 4.5.4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Op de staalconstructie zelf ~ ter hoogte van de rolbrug ▪ In het administratief gebouw en eventueel in de WCB en/of binnen de proefstukkamers ▪ Omgeving bergingssite 	Continu	Moment-opname	Accelerometers en seismometers	Opvolging door Koninklijke Sterrewacht België in het kader van hun seismometer-netwerk	Niet van toepassing	
	Bevestiging beoogde prestatie	Inspectieruimte: Detectie van mogelijke problemen	Visuele inspectie d.m.v. inspectierobot	§ 16.5.2							

Tabel 16-4 – Indicatoren en kritieke parameters met betrekking tot de langetermijnveiligheid, die tijdens de *exploitatiefase Ib* gemonitord zullen worden.

Exploitatiefase Ib										
Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/ indicator	Sectie/tabel/ nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiveringswijze data	Archivering meetstalen
Radiologisch monitoring-programma	Bevestiging van beoogde prestatie	Radiologische en chemische toestand in de omgeving zodat verstoringen uit de berging kunnen gedetecteerd worden (en die niet door het drainagesysteem gedetecteerd worden)	Zie §16.4.8.3 en Tabel 16-16	§ 16.4	Zie §16.4.8.3 [OD-237] Plan "MON GCTE009A", "MON GCTE010A" en APDMON GCTE013A	Zie §16.4.8.3 Tabel 16-16	Momentopname	Zie §16.4.8.3 Tabel 16-16	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
	Bevestigen van geotransferfactoren gebruikt in de veiligheidsevaluaties	Bevestigen van geotransferfactoren gebruikt in de veiligheidsevaluaties	Zie § 16.4.11							
Monitoring van het drainagewater	Bevestiging van beoogde prestatie	Detectie van mogelijke problemen	Hoeveelheid water Parameters in water Zie § 16.6.5 en Tabel 16-20	§ 16.6	§ 16.6	Continu Bij aanwezigheid water	Momentopname	Zie § 16.6.5 en Tabel 16-20	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
Monitoring van de inspectieruimte	Bevestiging van beoogde prestatie	Detectie van mogelijke problemen	Visuele inspectie van de inspectieruimte en het aanwezige gedeelte van het drainagesysteem	§16.5.2	Inspectieruimtes	Initieel 4-jaarlijks, frequentie aan te passen op basis van observaties	Momentopname	Inspectierobot	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

Exploitatiefase Ib

Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/ indicator	Sectie/tabel/ nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiveringswijze data	Archivering meetstalen
			Uitvoeren van besmettingsmetingen in geval van water of sporen van water aanwezig in de inspectieruimte	§16.5.2	Inspectieruimtes	Bij aanwezigheid van water of sporen van water	Momentopname	Wrijfmonsters	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
	Bevestigen levensduur beton	Carbonatatie opvolgen	Carbonatatiefront	§ 16.5.1 [OD-177] § 2.1; § 2.2 en § 2.3	Proefstukken, getuigemonolieten in proefstukkamers	Om de 2 à 5 jaar	Cumulatief	Kernboringen of boorstof	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
Fysiek toezicht en structurele monitoring	Bevestigen levensduur beton	Uitsluiten andere degradatieprocessen beton	Verificatie van afwezigheid van thaumasiet en secundaire ettringiet, druksterkte, porositeit op proefstukken, dimensionele veranderingen en spanningen (te wijten aan belasting en veroudering), corrosiepotentiaal in proefstukken en getuigemonolieten.	§ 16.5.1 [OD-177] § 2.1; § 2.2 en § 2.3	Proefstukken, getuigemonolieten in proefstukkamers	Om de 2 à 5 jaar	Cumulatief	§ 16.5.1.1	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie §16.3.3	Niet van toepassing
	Bevestigen levensduur beton en stabiliteit afdekking	Hypothese m.b.t. de beschouwde aardbevingen voor het ontwerp van betonnen componenten en voor de analyse van de stabiliteit van de afdekking	In-situ seismologische gegevens + interpretatie van data a.d.h.v. modellen	§ 16.5.7.3, [OD-177] § 3.3, [HS04] § 4.5.4	<ul style="list-style-type: none"> ■ In het administratief gebouw en eventueel in de WCB en/of binnen de proefstukkamers ■ Omgeving bergingssite 	Continu	Momentopname	Accelerometers en seismometers	Opvolging door Koninklijke Sterrewacht België in het kader van hun seismometer-netwerk	Niet van toepassing

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

Exploitatiefase Ib											
Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/indicator	Sectie/tabel/nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiveringswijze data	Archivering meetstalen	
	Bevestiging beoogde performantie	Inspectieruimte: Detectie van mogelijke problemen	Visuele inspectie d.m.v. inspectierobot	Zie § 16.5.2.1							
Afdekking	Beschermd e rol (en invulling van de R2a-rol) van de aarden afdekking tijdens fases Ib, II, III en IV	Topografische metingen op de afdekking	Zettingen en verplaatsingen	§ 16.5.5	Boven-oppervlak, hellingen en basis van de tumulus (§ 16.5.5.1)	Initieel maandelijks, zal daarna dalen met de tijd		Momentopname	Theodolieten, prisma's, optioneel Satelliet-metingen	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie § 16.3.3	Niet van toepassing
		Vaststellen bodemerosie, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora	Vervormingen, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora	§ 16.5.5	§ 16.5.5.2	Maandelijks		Momentopname	Visueel	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie § 16.3.3	Niet van toepassing

Tabel 16-5 – Indicatoren en kritieke parameters met betrekking tot de langetermijnveiligheid, die tijdens de sluitingsfase II en nucleaire reglementaire controlefase III gemonitord zullen worden.

Sluitingsfase II / Nucleaire reglementaire controlefase III										
Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/ indicator	Sectie/tabel/ nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiveringswijze data	Archivering meetstalen
Radiologisch monitoring-programma	Bevestiging van beoogde prestatie	Radiologische en chemische toestand in de omgeving zodat verstoringen uit de berging kunnen gedetecteerd worden	Zie § 16.4.8.4 en § 16.4.8.5 Tabel 16-17	Zie § 16.4.8.4 en § 16.4.8.5	§ 16.4.8.4 [OD-237] Tijdens fase II: Plan "MON GCTE011A" § 16.4.8.5 Tijdens fase III: Plan "APDMON GCTE012A" (acht extra observatiepunten op derde tijdsgordel) en APDMON GCTE013A	Bij niet-verwachte evoluties van het bergingssysteem, verstoringen in omgeving detecteren Zie § 16.4.8.4 Tabel 16-17	Momentopname	Zie § 16.4.8.4 en Tabel 16-17	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie § 16.3.3	Niet van toepassing
	Bevestigen van geotransferfactoren gebruikt in de veiligheidsevaluaties	Bevestigen van geotransferfactoren gebruikt in de veiligheidsevaluaties	Zie § 16.4.11							
Fysiek toezicht en structurele monitoring	Bevestigen van verwachte prestatie van betonnen componenten	Te bepalen voor fase II	Proefstukken en getuigenmonolieten	Te bepalen alvorens fase II	Te bepalen alvorens fase II	Te bepalen alvorens fase II	Te bepalen alvorens fase II	Te bepalen alvorens fase II	Te bepalen alvorens fase II	Te bepalen alvorens fase II
Afdekking	Beschermende rol (en invulling van de R2a-rol) van de aarden afdekking tijdens fases Ib, II, III en IV	Topografische metingen op de afdekking	Zettingen en verplaatsingen	§ 16.5.5	Bovenoppervlak, hellingen en basis van de tumulus (§ 16.5.5.1)	Initieel maandelijks, zal dalen met de tijd	Momentopname	Theodoliet, prisma's, optioneel Satelliet-metingen	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie § 16.3.3	Niet van toepassing

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

Sluitingsfase II / Nucleaire reglementaire controlefase III										
Monitoring thema	Algemene doelstelling	Specifieke doelstellingen	Parameter/ indicator	Sectie/tabel/ nota waar dit aspect in detail behandeld wordt	Lokalisatie van de meting	Frequentie van de meting	Duur van de meting	Meetinstrument Meetmethode	Archiveringswijze data	Archivering meetstalen
		Vaststellen bodemerosie, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora	Vervormingen, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora	§ 16.5.5	§ 16.5.5.2	Maandelijks	Momentopname	Visueel	Onderdeel van het geïntegreerde databeheer, zie § 16.3.3	Niet van toepassing

16.3 Beheersysteem met betrekking tot monitoring en toezicht

Voor de algemene managementsysteemprincipes verwijzen we naar Hoofdstuk 3 ([HS-03] § 3.2) van het veiligheidsrapport.

Bij het opstellen van een monitoring- en toezichtsprogramma wordt ook aandacht geschonken aan de onderstaande meer specifieke managementsysteem principes ([R16-1] § 9.1).

- Continuïteit van de benodigde middelen;
- Kwalificatie van monitoring- en toezichtsprogramma's, en de producten en data welke hieruit voortvloeien;
- Geïntegreerd databeheer;
- Rapportering.

16.3.1 Continuïteit van de benodigde middelen

Aangezien de levensduur van het monitoring- en toezichtsprogramma meerdere honderden jaren bedraagt, worden de nodige maatregelen getroffen om de continuïteit van de data inzameling en het datamanagement te handhaven en flexibiliteit te behouden zodat men zich kan aanpassen aan nieuwe methodes voor data inzameling en interpretatie (met behoud van vergelijkbaarheid van data).

De maatregelen om het risico op gebrek aan resources en/of financiële middelen te verminderen staan beschreven in Hoofdstuk 2 ([HS-02], §2.9.9).

16.3.2 Kwaliteitsborging

Het doel van de kwalificatie van de verschillende monitoring- en toezichtsprogramma's is dat er monitoringresultaten verkregen worden die voldoende representatief en betrouwbaar zijn.

Volgende vereisten worden gehanteerd:

- Alle activiteiten die gepaard gaan met monitoring en toezicht (bijvoorbeeld bemonstering, monitoring, monstervoorbereiding en analyse) gebeuren 'in overeenstemming met' of zijn 'afgeleid van'² officiële (inter)nationale normen, specificaties, standaardpraktijken voor gelijkaardige installaties, enzovoort. De hierin beschreven eisen dienen op hun beurt vertaald te worden naar procedures, specificaties, plannen en instructies zoals ook beschreven staat in Hoofdstuk 3 ([HS-03]

² Afwijkingen t.o.v. hetgeen beschreven staat in de gevolgde richtlijnen zijn toegestaan, maar de verwijzing naar de referentie wordt voorafgegaan door "Afgeleid van" (bv. Afgeleid van ISO 10381-1). Een afgeleide methode kan gebruikt worden indien de meetprincipes soortgelijk zijn en indien de performantiekenmerken (zoals herhaalbaarheid, reproduceerbaarheid, accuraatheid,...), welke eventueel opgenomen zijn in de norm, gehaald kunnen worden. Van elke methode dient een validatiedossier voorhanden te zijn dat minimaal volgende performantie kenmerken beschrijft : detectielimiet, herhaalbaarheid, reproduceerbaarheid en accuraatheid. Voor elke analysemethode dient een kwaliteitscontroleprogramma aanwezig te zijn. Iedere afwijking dient ook duidelijk beschreven te worden.

§ 3.2.2). Iedere afwijking ten opzicht van de onderschreven eisen dient gejustifieerd te worden en de afwijking mag geen gevolg hebben op het uiteindelijk meetresultaat. Alle procedures, specificaties, plannen en instructies worden door de exploitant goedgekeurd vooraleer ze toegepast worden. Deze documenten worden op periodieke basis terug beoordeeld naar hun effectiviteit en overeenstemming met de best beschikbare praktijken. Ongeacht de methodieken die gevolgd worden, moeten de bekomen resultaten steeds representatief zijn met de werkelijkheid en moeten vergelijkbare resultaten opgeleverd kunnen worden. Een belangrijke voorwaarde is dat de gebruikte methoden steeds worden getoetst en goedgekeurd door een QA/QC programma (i.e. norm ISO 17025 of equivalent) van het betrokken laboratorium welke de kwaliteit van de meetresultaten dient te waarborgen;

- In de procedures, specificaties, instructies en plannen wordt rekening gehouden met vigerende wetgeving, uitbatingsvergunning, en overige door NIRAS onderschreven documenten zoals IAEA safety standards, ICRP aanbevelingen, ... ;
- Vooraleer taken uitgevoerd worden, worden de nodige competenties bepaald voor het uitvoeren van de taken m.b.t. monitoring en toezicht. Iedereen die taken uitvoert met betrekking tot monitoring en toezicht dient te beschikken over de nodige competenties;
- De gebruikte monitoring- en toezichtsinstrumentatie is in staat gegevens aan te leveren met de vereiste nauwkeurigheid;
- Alle instrumentatie waarvoor dit van toepassing is, wordt op periodieke basis gecontroleerd, gekalibreerd en – indien nodig – bijgesteld opdat de vereiste nauwkeurigheid steeds behouden blijft. Alle onderhoudswerkzaamheden en herstellingen worden gedocumenteerd. Alles wordt uitgevoerd in overeenstemming met door NIRAS goedgekeurde procedures;
- Ieder laboratorium dat ingeschakeld wordt moet beschikken over een accreditatie voor de norm ISO/IEC 17025 [R16-2] of gelijkwaardig. Er wordt speciale aandacht besteed aan activiteiten die niet uitgevoerd worden door de laboratoria zelf, bijvoorbeeld het nemen van stalen. Ook hierop dient de kwaliteit te allen tijde verzekerd te worden;
- De kwaliteit valt volledig onder de verantwoordelijkheid van NIRAS. Om aan te tonen dat de kwaliteit beheerst en continu verbeterd wordt zorgt NIRAS voor:
 - de organisatie en uitvoering van periodieke interne en externe audits;
 - de goedkeuring van alle interne en externe procedures, instructies, enz. ;
 - de periodieke of continue opvolging van alle processen:
 - nazicht van de (check)lijsten bekomen van de contractanten;
 - de toepassing van holdpoints;
 - verificatie van QA documenten;
 - steekproefsgewijze verificatie van bepaalde processen;
- Leveranciers worden door NIRAS gekozen door toepassing van de wetgeving overheidsopdrachten. Deze wetgeving laat toe dat kwaliteit een belangrijke rol speelt in de keuze van de leverancier.

16.3.3 Geïntegreerd databeheer

Monitoring- en toezichtsgegevens worden opgeslagen in een centrale databank beheerd door NIRAS. Voorafgaandelijk aan publicatie ondergaan de monitoring- en toezichtsgegevens een goedkeuringsproces.

De informaticatoepassing voor het beheer en communicatie van monitoring- en toezichtsresultaten voldoet aan onderstaande voorwaarden:

- Bij de ontwikkeling van de toepassing worden de nodige maatregelen genomen opdat – gedurende de volledige levensduur – voldoende bescherming geboden wordt tegen opzettelijke en onopzettelijke intrusies, virussen, bedrog, Indien deze beveiliging niet kan gegarandeerd worden is de verbinding met externe netwerken niet toegestaan. Het systeem wordt ook ontworpen om voldoende transparant en toegankelijk te zijn, maar niet ten koste van de beveiliging van het systeem.
- De bekomen gegevens zullen te allen tijde leesbaar, identificeerbaar en opvraagbaar zijn.
- De gegevens worden beschermd tegen beschadiging, aantasting of verlies. De nodige back-up systemen worden voorzien. Op periodieke basis zullen de verworven gegevens worden overgezet op de nieuwe generatie van gegevensdragers.
- Eisen en verantwoordelijkheden met betrekking tot gegevensoverdracht, -verspreiding, -behoud, -onderhoud en -ordening worden gedocumenteerd.
- In de mate van het mogelijke wordt er reeds rekening gehouden met de toekomstige technologische evoluties opdat de toepassing met een minimum aan interventie terug zal voldoen aan de op dat moment van toepassing zijnde technologie.
- De nodige voorzieningen worden getroffen opdat het hele hardwaresysteem te allen tijde zo goed mogelijk beschermd is tegen brand, inbraak,

De ontwikkeling en indienstname is voorzien tegen de start van de constructiefase. Bij de ontwikkeling van het systeem worden de volgende stappen gevolgd:

- Het opstellen van een lastenboek met de specificaties;
- Opstellen van een eerste model voor de database en interfaces, om het systeem te testen aan de hand van de eerste monitoring data (bijvoorbeeld metingen in de proefafdekking);
- Bevestiging/aanpassing van het eerste model tot de definitieve informatica toepassing.

In de toekomst is een verdere ontwikkeling van de informaticatoepassing voorzien, afhankelijk van de noden, de behoeften en de opgedane ervaring, waarbij bv. gedacht kan worden aan het direct toegankelijk maken van monitoringgegevens aan de stakeholders.

16.3.4 Rapportering

Vanaf het bekomen van de oprichtings- en exploitatievergunning stelt de exploitant in het eerste semester van elk jaar een verslag op (zie artikel 53 van [R16-17]). Dit jaarverslag bevat onder meer de volgende monitoring- en toezichtsgelateerde aspecten:

- een samenvatting van de resultaten van het monitoring- en toezichtsprogramma;
- een bijgewerkte inventaris van het geborgen radioactieve afval.

16.4 Beschrijving en justificatie van het radiologische monitoringprogramma

16.4.1 Inleiding

Het radiologisch monitoringprogramma heeft tot doel:

- de opvolging van het gedrag van het bergingssysteem en zijn omgeving;
- de verificatie van de impact van de oppervlakteberging op mens en milieu.

Voor al de perioden en fasen vóór de opheffing van de nucleaire reglementaire controle wordt een radiologisch monitoringprogramma opgesteld en uitgevoerd.

Het in deze sectie gepresenteerde monitoringprogramma bevat de leidende principes van het programma alsook een voorstel van metingen en controles welke uit deze principes afgeleid kunnen worden. Met behulp van de monitoringresultaten en periodieke veiligheidsherzieningen kunnen er zich in de toekomst wijzigingen voordoen aan de metingen en controles en/of frequenties en/of aantal metingen en/of locaties, teneinde de leidende principes van het programma efficiënter in te vullen.

Het in deze sectie gepresenteerde monitoringprogramma bevat momenteel meer details voor de eerste periode van ongeveer 50 jaar, i.e. de pre-operationele periode, constructiefase en exploitatiefase Ia, dan voor de latere fasen in het leven van de berging. Meer details voor deze latere fasen zullen opgenomen worden bij toekomstige revisies van het veiligheidsrapport.

16.4.2 Beschouwde blootstellingsscenario's en blootstellingswegen

16.4.2.1 Operationele veiligheid

Voor het opstellen van het monitoringprogramma gelinkt met de operationele veiligheid wordt er een onderscheid gemaakt tussen het 'referentiescenario voor operationele veiligheid' en de 'ongevalscenario's'. Voor meer informatie wordt er verwezen naar Hoofdstukken 12 en 13 die respectievelijk ingaan op stralingsbescherming en operationele veiligheid.

Referentiescenario voor operationele veiligheid

De belangrijkste blootstellingsweg is *externe bestraling* (direct of indirect via strooistraling (skyshine effect)).

Tijdens de exploitatiefase Ia, exploitatiefase Ib en sluitingsfase kan er eventueel besmet water gemeten worden in het drainagesysteem. Dit water wordt opgevangen in gesloten reservoirs vooraleer het gemeten wordt. De nodige designmaatregelen werden genomen om besmettingen te vermijden buiten deze reservoirs [HS-08], § 8.5.5. Het water, al dan niet besmet, zal steeds afgevoerd worden naar de installaties voor de behandeling van vloeibaar afval bij Belgoprocess.

Ongevalscenario's

Er worden verschillende ongevalscenario's in rekening gebracht waaronder bijvoorbeeld de inslag van een vliegtuig. In deze scenario's is er de mogelijkheid van andere blootstellingswegen dan externe bestraling en gebeurt de transfer van radionucliden via de atmosferische weg. De belangrijkste mogelijke blootstellingswegen zijn inhalatie, huidbestraling en externe bestraling.

16.4.2.2 Langetermijnveiligheid

Voor het opstellen van het monitoringprogramma dat gelinkt is met de langetermijnveiligheid wordt er een onderscheid gemaakt tussen enerzijds ‘scenario’s met geleidelijke uitloging’ en anderzijds de ‘intrusiescenario’s’. De scenario’s met geleidelijke uitloging omvatten een op de zeer lange termijn onvermijdelijke geleidelijke uitloging van langlevende radionucliden naar het grondwater. Vanuit het grondwater komen er radionucliden terecht in de biosfeer waar ze uiteindelijk door ingestie, inhalatie, huidbestraling en externe bestraling aanleiding kunnen geven tot blootstelling. Daar verondersteld wordt dat ten gevolge van de getroffen maatregelen intrusiescenario’s met onopzettelijke intrusie enkel kunnen voorkomen na de opheffing van de nucleaire reglementaire controle, wordt dit niet verder in beschouwing genomen bij het monitoring- en toezichtsprogramma. Voor meer informatie wordt er verwezen naar Hoofdstuk 14 van het veiligheidsrapport. In de tabellen Tabel 16-2, Tabel 16-3, Tabel 16-4 en Tabel 16-5 wordt er een overzicht gegeven van de parameters die van belang zijn voor de langetermijnveiligheid.

16.4.3 Types van radiologische monitoring

Vanuit radiologisch oogpunt kunnen er drie types van monitoring onderscheiden worden.

- 1) *Individuele monitoring* wordt gedefinieerd als het uitvoeren van metingen met behulp van instrumentatie gedragen door het individu, met als doel het verkrijgen van een representatieve schatting van de opgelopen stralingsdosis door het betrokken individu. Dit wordt besproken in Hoofdstuk 12 § 12.6.5.
- 2) Onder *operationele monitoring* wordt verstaan (i) monitoring bij de bron, (ii) monitoring in de werkplaats en (iii) monitoring waarbij abnormale situaties vroegtijdig kunnen worden waargenomen (i.e. alertheid van het monitoring systeem).
 - a) *Monitoring bij de bron*³ wordt gedefinieerd als het monitoren van de externe stralingsdosis(debiet) te wijten aan (operaties met) bronnen aanwezig op de bergingssite, met als doel aan te tonen dat de bergingsinstallatie een bron is die onder controle is en dat steeds voldaan wordt aan de modaliteiten die van toepassingen zijn op de gecontroleerde en bewaakte zones.
 - b) *Monitoring in de werkplaats* wordt gedefinieerd als het monitoren van de werkomgeving om aan te tonen dat de werkomgeving geschikt is voor het uitvoeren van operaties door het individu en dat er zich geen abnormale situaties voordoen.
 - c) Operationele monitoring die bij normale werking van de bergingsinstallatie als doel heeft een *vroegtijdige waarschuwing* te genereren bij een significante afwijking ten opzicht van hetgeen vooropgesteld werd.
- 3) *Omgevingsmonitoring* geschiedt zowel op als buiten de bergingssite en wordt gedefinieerd als het monitoren van (i) de externe stralingsdosis(debiet) en (ii) de radionucliden concentraties in verschillende type van omgevingsmedia, dit met als doel de impact die de bergingsinstallatie uitoefent op mens en leefmilieu in kaart te brengen.

³ Atmosferische en vloeibare lozingen – ook behorende tot monitoring bij de bron – worden niet in beschouwing genomen daar deze in normale condities niet plaatsvinden.

16.4.4 Radionucliden en voorlopers van radiologische contaminatie

Op alle relevante blootstellingswegen die verband houden met zowel operationele (§ 16.4.2.1) als langetermijnveiligheid (§ 16.4.2.2) zal toezicht worden gehouden. De hieraan geassocieerde transferwegen zijn:

- de atmosferische transferweg;
- de geleidelijke uitloging naar het grondwater;
- en externe straling (i.e. geïntegreerde omgevingsdosis en dosistempo).

De selectie van radionucliden en voorlopers van radiologische contaminatie zijn gebaseerd op:

- dewelke kunnen vrijkomen uit de bergingsinstallatie;
- dewelke afkomstig zijn of kunnen zijn van de in de nabije omgeving aanwezige activiteiten en/of die de interpretatie van de toezichtsresultaten kunnen beïnvloeden;
- dewelke van nature voorkomen, of die geassocieerd kunnen worden aan (historische) nucleaire accidenten (bv. Tsjernobyl) en testen (e.g. atoombom proeven);
- dewelke reeds werden vastgesteld tijdens een oriënterend bodemonderzoek uitgevoerd in 2008 [OD-245].

De te monitoren parameters behorende tot het radiologisch monitoring programma zijn afhankelijk van het type transferweg en worden weergegeven in Tabel 16-6; Tabel 16-7; Tabel 16-8 en Tabel 16-9.

Tabel 16-6 – Radiologische parameters met betrekking tot de atmosferische transferweg bij normale exploitatie van de bergingsinstallatie.

Parameter(s)	Beschrijving
alfa totaal beta totaal	Aanbevolen parameters voor alle type media. Deze zullen worden gebruikt om te waarschuwen voor onverwachte situaties en worden periodiek aangevuld met radionuclide specifieke metingen (door middel van spectroscopische metingen of radiochemische analyses). Elke belangrijke schommeling in de meetresultaten zal aanleiding geven tot verder onderzoek, met inbegrip van radionuclide specifieke metingen. Om deze reden moeten actieniveaus voor alfa totaal en beta totaal worden bepaald (§ 16.4.9.3).
²³⁴ U, ²³⁵ U, ²³⁸ U	Aanbevolen omwille van hun natuurlijk voorkomen en omwille van de voormalige nabijgelegen Uranium en MOX brandstofproducerende installaties, i.e. FBFC International en Belgonucleaire ⁴ .
²³⁸ Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	Aanbevolen omwille van de voormalige nabijgelegen MOX brandstofproducerende installatie, i.e. Belgonucleaire.
²⁴¹ Am	Aanbevolen omwille van de voormalige nabijgelegen MOX brandstofproducerende installatie en radioactief afvalverwerkend bedrijf, i.e. Belgonucleaire en Belgoprocess.
²²⁶ Ra	Aanbevolen omwille van zijn natuurlijk voorkomen in de brandstof van de voormalige nabijgelegen steenkoolcentrale ⁵ .
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y, ¹³⁷ Cs	Aanbevolen radionucliden die hun oorsprong vinden in wereldwijde nucleaire accidenten en testen
³ H, ¹⁴ C	De impact van tritium en ¹⁴ C op mens en milieu, als gevolg van de migratie van gasvormig tritium en ¹⁴ C doorheen de bergingsinstallatie naar de atmosfeer, zal verwaarloosbaar zijn. Niettemin zullen beide radionucliden worden gemeten als gevolg van (i) gangbare praktijken in gelijkaardige installaties en (ii) het voorzorgsprincipe.
²²² Rn	Aanbevolen omwille van zijn natuurlijk voorkomen in bodem en bouwmaterialen (t.g.v. radon exhalatie).

Tabel 16-7 - Radiologische parameters met betrekking tot de atmosferische transferweg tijdens een accidentele situatie. (*) indien mogelijk worden deze standaard meegenomen tijdens gamma-spectroscopische metingen.

() Standaard worden er geen voorzieningen getroffen om jodium isotopen te monitoren.**

Parameter(s)	Beschrijving
²⁴¹ Am*, ⁶⁰ Co*, ²³⁸ Pu, ²⁴¹ Pu	Deze radionucliden worden alleen gemeten als gevolg van een accident [OD-172]. Deze radionucliden leveren de hoogste bijdrage voor de dosis.
³ H, ¹⁴ C, ³⁶ Cl, ⁴¹ Ca, ²⁴⁴ Cm, ¹³⁴ Cs*, ¹³⁷ Cs*, ⁵⁴ Mn*, ⁵⁵ Fe, ⁵⁸ Co*, ⁵⁹ Ni, ⁶³ Ni, ⁶⁵ Zn*, ⁷⁹ Se, ⁹⁰ Sr, ⁹³ Zr, ⁹³ Mo, ⁹⁴ Nb*, ⁹⁹ Tc, ¹⁰⁷ Pd, ¹⁰⁹ Cd*, ¹²⁵ I**, ¹²⁹ I**, ¹⁵¹ Sm, ²³⁴ Th*, ²³⁴ U, ²³⁸ U, ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	Indien de totale vrijgekomen activiteit wordt beschouwd, vertegenwoordigt deze lijst de bijkomende radionucliden waarop toezicht kan gebeuren.

⁴ De kernactiviteiten (i.e. productie MOX brandstofelementen) van Belgonucleaire en FBFC zijn reeds stopgezet. Beide bevinden zich momenteel in het stadium van ontmanteling.

⁵ De kernactiviteiten van de steenkoolcentrale zijn stopgezet en de ontmantelingswerkzaamheden zijn achter de rug.

Tabel 16-8 – Radiologische parameters met betrekking tot scenario's met geleidelijke uitloging (langetermijnveiligheid)

Parameter(s)	Beschrijving
alfa totaal beta totaal	Aanbevolen parameters voor alle type media, behalve sedimenten. Deze zullen worden gebruikt om te waarschuwen voor onverwachte situaties en worden periodiek aangevuld met radionuclide specifieke metingen (door middel van spectroscopische metingen of radiochemische analyses). Elke belangrijke schommeling in de meetresultaten zal aanleiding geven tot verder onderzoek, met inbegrip van radionuclide specifieke metingen. Om deze reden moeten actieniveaus voor alfa totaal en beta totaal worden bepaald (§ 16.4.9.3).
netto beta	Aanbevolen parameter voor oppervlaktewateren (wordt veralgemeend naar alle type van media behalve sedimenten). De totaal gemeten beta activiteit min de ^{40}K activiteit.
^{234}U , ^{235}U , ^{238}U	Aanbevolen omwille van hun natuurlijk voorkomen en omwille van de voormalige nabijgelegen Uranium en MOX brandstofproducerende installaties, i.e. FBFC International en Belgonucleaire.
^{228}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra	Aanbevolen omwille van hun natuurlijk voorkomen in de bodem.
^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$	Aanbevolen omwille van de voormalige nabijgelegen MOX brandstofproducerende installatie, i.e. Belgonucleaire, en omwille van hun relevantie voor de langetermijnveiligheid.
^{241}Am	Aanbevolen omwille van de voormalige nabijgelegen MOX brandstofproducerende installatie en radioactief afvalverwerkend bedrijf, i.e. Belgonucleaire en Belgoprocess, en omwille van zijn relevantie voor de langetermijnveiligheid.
^{90}Sr - ^{90}Y , ^{137}Cs	Aanbevolen radionucliden die hun oorsprong vinden in historische wereldwijde nucleaire accidenten en testen
^3H	Aanbevolen radionuclide wegens zijn gemakkelijke migratie doorheen het bergingssysteem. Tritium wordt aanzien als de belangrijkste voorloper (indicator) van radiologische contaminatie.
^{14}C , ^{36}Cl	Aanbevolen radionucliden wegens hun relevantie voor de langetermijnveiligheid.
^{99}Tc , ^{129}I , (^{14}C)	De langlevende radionucliden die slecht worden gesorbeerd door bodem en cementgebonden materialen, worden eveneens aanbevolen.
^{40}K	Omwille van zijn natuurlijk voorkomen kan het een significante bijdrage leveren aan de beta totaal metingen.

Tabel 16-9 – Parameters met betrekking tot scenario's met geleidelijke uitloging die optreden als voorlopers (indicatoren) van radiologische contaminatie

Parameter(s)	Beschrijving
pH	
specifieke of elektrische geleidbaarheid (EC)	Aanbevolen parameters wegens een relatieve snelle indicatie van mogelijke toekomstige radiologische contaminatie.
Boor (B)	
Tritium (^3H)	

16.4.5 Type media

De selectie van de media is gebaseerd op de geïdentificeerde transferwegen en de hieraan geassocieerde radionucliden of voorlopers van radiologische contaminatie waaraan zowel mens als milieu potentieel worden blootgesteld.

Bij de selectie van staalnamelocaties wordt rekening gehouden met de atmosferische en hydrogeologische condities op de site en van de omgeving. De staalnamefrequentie is zodanig gekozen dat elke abnormale

situatie tijdig wordt waargenomen, waarbij rekening wordt gehouden met de seizoensgerelateerde schommelingen van de radiologische (natuurlijke) achtergrondwaarden.

Natuurlijke en kunstmatige radioactiviteit kunnen in het leefmilieu circuleren van het ene compartiment naar het andere om uiteindelijk de mens te bereiken via inhalatie, opname, of besmetting via droge of natte depositie (regen, aerosolen, stofdeeltjes). Er wordt een onderscheid gemaakt tussen primaire media (atmosfeer, depositie materialen, sedimenten, oppervlaktewater, grondwater) en secundaire media (mens, fauna, flora).

De verwachte besmettingsniveaus afkomstig van de bergingsinstallatie via de atmosferische en hydrogeologische transferwegen worden ondersteld 'zeer laag' of zelfs nul te zijn. Dit rechtvaardigt de keuze om alleen de primaire media als relevante media te beschouwen in dit radiologisch monitoringprogramma. Dus, zolang de monitoringresultaten van de primaire media zich beneden de limieten bevinden, kan aangenomen worden dat de secundaire media vrijblijven van enige besmetting. Tabel 16-10 bevat een oplist van secundaire media en de hieraan geassocieerde primaire media die fungeren als indicatoren van een potentiële verspreiding van besmetting.

Tabel 16-10 – Lijst van secundaire media en de hieraan geassocieerde primaire media als indicatoren van potentiële verdere verspreiding van besmetting.

Secundaire media	Primaire media als indicator
Voedsel en voeder zoals bladgroenten, andere groenten, fruit, melk, graan, vlees	Oppervlakte- en grondwater en/of sedimenten
Terrestrische media zoals gras, korstmossen en mossen (behalve bodem en gras indicatoren van besmetting)	Depositie en omgevingslucht
Aquatische media zoals vis, schaaldieren, en bodemdieren (behalve vis indicatoren van besmetting)	Oppervlaktewater en sedimenten

Het monitoren van het bodemoppervlak is niet vervat in dit monitoringprogramma omwille van de lage impact van de bergingsinstallatie op zowel mens als leefmilieu en omdat er geen lozingen plaatsvinden. Hierdoor zijn depositiebemonstering en atmosferische bemonstering (i.e. aerosolen en tritium) voldoende daar deze media indicatoren zijn voor de verspreiding van besmetting in de lucht en depositie op het bodemoppervlak.

Het monitoringprogramma zal de volgende type media omvatten:

- Dosis(tempo) monitoring;
- Monitoring en bemonstering van het water afkomstig van het drainagesysteem (zie § 16.6)
- Bemonstering omgevingslucht – aerosolen;
- Bemonstering omgevingslucht – tritium en ¹⁴C;
- Bemonstering omgevingslucht – radon;
- Bemonsteringscampagne van bodem diepteprofielen;
- Depositie bemonstering;
- Bemonstering grondwater
- Bemonstering oppervlaktewater;
- Bemonstering sedimenten.

16.4.5.1 Dosis(tempo) monitoring

Bij normale omstandigheden tijdens de operationele periode zal externe bestraling de belangrijkste blootstellingsweg zijn voor zowel mens als leefmilieu. Vier soorten metingen worden in overweging genomen:

- Terreinverkenningen (dosistempo);
- Continu integrerende dosismetingen;
- Continu actieve dosistempometingen;
- Periodieke dosistempometingen.

Terreinverkenningen (dosistempo)

Dosistempi werden reeds gemeten aan de hand van helikoptervluchten [OD-244] en terreinverkenningen te voet [OD-257].

Deze metingen tonen aan dat nergens verhoogde dosistempi waar te nemen zijn op dit terrein (zie Tabel 16-12). Enerzijds wijst dit op het feit dat de normale bedrijvigheden van de omliggende nucleaire bedrijven geen enkele invloed hebben op de stralingsbelasting op dit terrein. Anderzijds tonen deze metingen ook aan dat hier geen residuen te vinden zijn van eventuele nucleaire activiteiten.

De terreinverkenning te voet zal herhaald worden tijdens de constructiewerkzaamheden om de eventuele invloed van constructiematerialen na te gaan.

Continu integrerende dosismetingen

Integrerende dosismeters zullen gebruikt worden om de omgevingsdosis te monitoren. De gekozen locaties omvatten volgende plaatsen:

- *waar de verwachte dosistempi het hoogst zijn, en omvat evenals de locatie van een representatief persoon.* Vier dosismeters worden geplaatst op de binnenste en buitenste omheining in het verlengde van de ontladzone monolieten tussen de vier modules die in exploitatie zijn. Dit zijn mobiele⁶ dosismeters. De dosimeter aan de buitenste omheining (noordzijde) is tevens deze voor de representatieve persoon.
- *aan de grenzen van de gecontroleerde, bewaakte zones.* Tien dosismeters (en twee extra vanaf exploitatiefase Ia) worden gelijkmatig verdeeld over de buitenste omheining en zes dosismeters over de binnenste omheining.
- twee dosismeters worden geplaatst op zowel de noordzijde als de zuidzijde van de bergingsite en dit op een zekere afstand. Het doel is om het conservatisme van de berekende dosis te verifiëren met de gemeten dosis.
- *op de passerel (2^{de} niveau) tussen de twee rijen van modules.* Twee dosismeters worden geplaatst aan de passerel tussen de vier modules die in exploitatie zijn. Dit zijn mobiele dosismeters. Het doel is om de berekende dosis te verifiëren met de gemeten dosis ter hoogte van de top van de modules.
- *in de inspectiegalerij.* Twee dosismeters worden geplaatst tussen de vier modules die in exploitatie zijn. Dit zijn mobiele dosismeters.

⁶ Deze verplaatsen zich met de modules in exploitatie.

- op tijdelijke locaties gedurende de pre-operationele periode en de constructiefase. Één in het midden van de bergingsinstallatie (i) gedurende de pre-operationele periode als referentiemeting en (ii) aan de grens ‘bewaakte zone’ – ‘Werf’ tijdens gelijktijdige activiteiten van constructie en exploitatie op de bergingssite. Één op de hoek van de bergingsinstallatie aan de noordoostelijke zijde als referentiemeting tijdens de pre-operationele periode en dit vanwege de invloed van de omliggende nucleaire installaties.
- Binnen de bijgebouwen aanwezig op de bergingssite, e.g. kantoren en werkplaatsen. Één in het NIRAS administratief gebouw en één in de garage.

De achtergrondstralingsniveaus in de onmiddellijke omgeving variëren tussen circa 50 nSv/h en 90 nSv/h [R16-3], Tabel 16-12. Dit betekent dat de minimale detecteerbare dosis voor de respectievelijke integrerende dosismeters kleiner moet zijn dan 129 µSv (60 nSv/h x 24 h x 90 d).

Continu actieve dosistempometingen

De stralingsniveaus afkomstig van de modules in exploitatie [HS-12] § 12.7.1, waarvan de opvullingsconfiguratie continu onderhevig is aan verandering, worden op actieve basis opgevolgd door gebruik te maken van vaste online dosistempometers (mobiel). De locaties zijn [OD-237]:

- Aan de bovenzijde van beide rolbruggen en ter hoogte van de passerel (3^{de} niveau), omdat verwacht wordt dat daar het dosistempo het hoogste is;

De actieve dosisdebietmeters worden telkens in het midden van de modulewand geplaatst zo'n vijf tot zes meter ten opzichte van de bovenrand van de modules. Bij de keuze van de meetlocaties werd onder andere rekening gehouden met de activiteiten die plaatsvinden aan de bovenzijde van de modules in exploitatie, met de relatief hoge stralingsbelasting op jaarbasis door het periodieke onderhoud van de rolbrug ([HS-12] § 12.7.1.4, Tabel 12-3). Gedurende de periodieke onderhoudsactiviteiten zal iedere rolbrug steeds worden gestationeerd tussen de modules die in exploitatie zijn.

- Punt aan de buitenste omheining (i.e. bewaakte zone) dat overeenkomt met de locatie van een representatief persoon. Dit komt overeen met de buitenste omheining (met name de noordzijde), in het verlengde van de onlaadzone monolieten tussen de vier modules die in exploitatie zijn.

De meetwaarden zullen gelegen zijn tussen een verwachte range van ‘de natuurlijke achtergrondwaarden’ en maximum 20 mSv/h. Deze laatste waarde komt overeen met het maximale dosistempo in contact dat op eender welk punt van een monoliet mag gemeten worden (i.e. bij ontladen monoliet).

Periodieke dosistempometingen

Op regelmatige basis zullen dosistempometingen worden uitgevoerd door middel van een draagbare dosistempometer. De metingen zullen worden uitgevoerd ter hoogte van de omheiningen van de gecontroleerde en de bewaakte zones.

De meetwaarden zullen gelegen zijn tussen een verwachte range van ‘de natuurlijke achtergrondwaarden’ en de maximale dosistempi in de verschillende zones van de bewaakte en gecontroleerde zones ([HS-12] § 12.6.4).

16.4.5.2 Bemonstering van aërosolen en gassen in omgevingslucht

Luchtbemonstering wordt uitgevoerd om de concentratie aan aërosolen-gebonden en sommige gasvormige radionucliden in de lucht te bepalen. Dank zij een bemonsteringspomp, wordt de potentiële luchtbesmetting op een filter afgezogen en daarna gemeten.

Continue luchtbemonstering wordt voorzien op één of twee permanente bemonsteringsstations in de buurt van de bergingsinrichting, waarbij de concentratie van ^3H en ^{14}C gemeten wordt. De positionering neemt de overheersende windrichtingen in beschouwing ([HS-04] § 4.4.2.2). Daarnaast worden ook bemonsteringsmetingen voorzien in de gele zone ter bevestiging van de afwezigheid van radiologische besmetting door gassen (in casu ^3H en Radon) en aërosolen. Deze metingen zullen minstens wekelijks uitgevoerd worden.

16.4.5.3 Bemonstering van radon in omgevingslucht

Er zijn twee bronnen van radon die bijdragen aan de uiteindelijke radonconcentraties [OD-218] § 3:

- radonexhalatie uit de grond;
- en de radonexhalatie uit bouwmaterialen.

Twee soorten metingen worden uitgevoerd:

- Integreernde radon monitoring;
- Actieve radon monitoring.

Integreernde radon monitoring

Radonconcentraties in de omgeving zullen worden opgevolgd door gebruik te maken van integreernde dosimeters. De gekozen locaties omvatten volgende punten (zie ook [OD-237]) :

- *waar verwacht wordt dat de radonconcentraties het hoogst kunnen zijn.* Eén of twee detectoren worden geplaatst waar verwacht wordt dat de radonconcentraties het hoogste kunnen zijn, rekening houdend met de overheersende windrichtingen.
- *op tijdelijke locaties gedurende de pre-operationele periode en constructiefase.* Eén detector in het midden van de bergingsinstallatie en twee detectoren aan de buitenste omheining in de noordwestelijke en zuidoostelijke hoek van de bergingssite. Deze detectoren worden enkel gebruikt voor referentiemeting doeleinden.
- *op de passerel (2^{de} niveau) tussen de twee rijen van modules.* Twee detectoren worden geplaatst op de passerel tussen de vier modules die in exploitatie zijn. Dit zijn mobiele dosimeters. Het doel is om de berekende dosis te verifiëren met de gemeten dosis ter hoogte van de top van de modules.

De radonconcentraties in de omgeving van de bergingssite variëren tussen 0 en 46 Bq/m³ (zie Tabel 16-12).

Continu actief toezicht op radon

Een meetstation voor actief toezicht op de radonconcentratie zal worden geplaatst in de inspectiegalerij.

De berekende radonconcentratie in de inspectiegalerij, voornamelijk te wijten aan de natuurlijke exhalatie van radon uit beton en niet afkomstig van het geborgen afval, bedraagt zo'n 40 Bq/m³ [OD-218] § 5.

16.4.5.4 Bemonsteringscampagne van bodemprofielen

Voor een adequate karakterisering van de bodem van de bergingssite zijn *diepteprofielen van de bodem* bemonsterd, met als objectief:

- Onderzoek naar historische contaminatie afkomstig van (i) nabijgelegen nucleaire installaties, (ii) nucleaire activiteiten op de bergingssite en (iii) nucleaire accidenten;
- Het vastleggen van referentiewaarden en de kwantificering van de ruimtelijke variaties (i.e. karakterisering van de site).

De resultaten van deze metingen zijn opgenomen in Tabel 16-12.

Tijdens de terreinverkenningen (i.e. dosistempo onderzoek, zie § 16.4.5.1) werden er geen significante afwijkingen ten opzichte van de achtergrondwaarden vastgesteld, en zal dus niet leiden tot de extra staalname van bodem diepteprofielen.

16.4.5.5 Depositiebemonstering

Het begrip depositie omvat zowel natte depositie als droge depositie. Droge depositie is hoofdzakelijk het gevolg van een neerwaartse vrije val van aerosolen in de atmosfeer. Natte depositie is hoofdzakelijk het resultaat van het uitwassen van radionucliden door neerslag.

Het doel van depositiemetingen is tweeledig, (i) het monitoren van de accumulatie van radionucliden op de bodem en (ii) het opvolgen van de potentiële verspreiding van radionucliden doorheen de atmosfeer.

De bemonsteringslocatie(s) is/zijn gelokaliseerd waar de hoogste concentraties aan radionucliden zouden kunnen verwacht worden. Hierbij is rekening gehouden met de overheersende windrichting [HS-04] § 4.4.2.2.

16.4.5.6 Bemonstering grondwater, oppervlaktewater en sedimenten

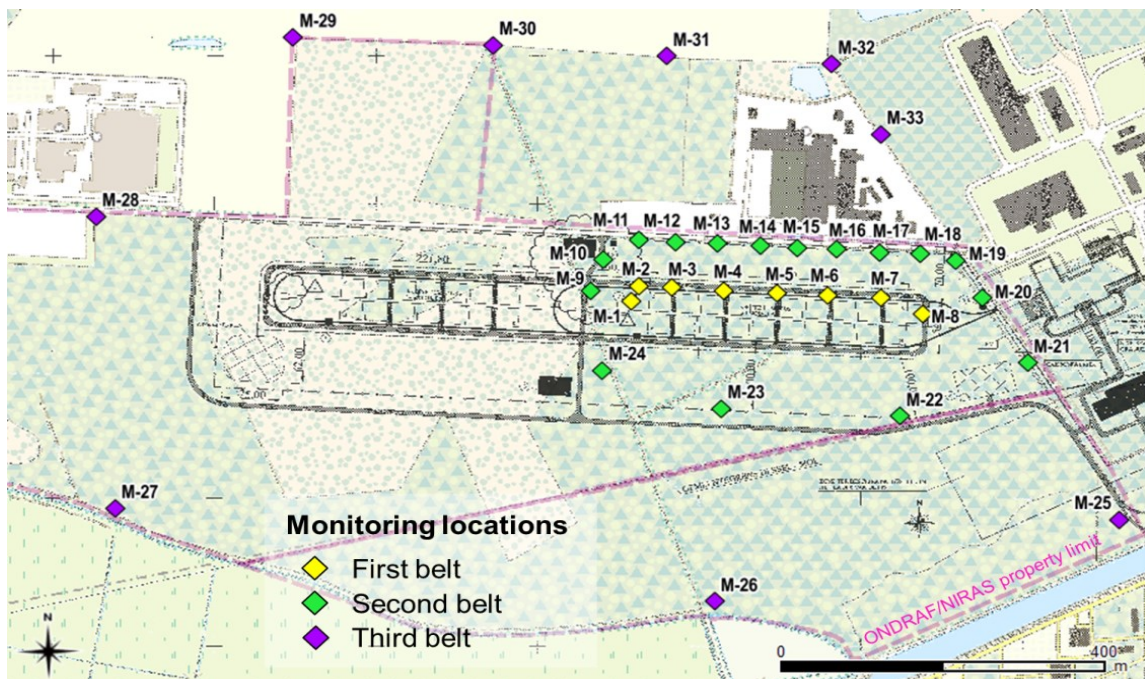
Het monitoringprogramma op het grondwater is voornamelijk gebaseerd op basis van de kennis van het hydrogeologische systeem ([HS-04] § 4.6.2) en het ontwerp van de oppervlaktebergingsinstallatie [HS-08]. Beiden bepalen de ruimtelijke en temporele evoluties van radionucliden en indicatoren van radiologische contaminatie op basis van uitlogings- en het grondwatertransportsimulaties. Het mogelijke invloedsgebied van de contaminatie is weergegeven in [HS-04] § 4.6.2.8.

In het kader van grondwatermonitoring werd besloten om het begrip ‘tijdsgordel’ in te voeren. Een tijdsgordel wordt gedefinieerd als een hypothetische lijn die alle grondwaterobservatieputten in de watervoerende laag met elkaar verbindt waarvan de reistijd van het grondwater, bekeken vanaf de bron (i.e. onderzijde ophoging), binnen éénzelfde tijdsenveloppe valt. De meerderheid van de observatieputten zullen binnen de grenzen van de bergingssite geïnstalleerd worden en zorgen voor een vroegtijdige waarschuwing vooraleer gecontamineerd grondwater de grens van de bergingssite zou kunnen overschrijden. Drie tijdsgordels zullen voorzien worden:

- Gordel 1: Observatieputten in de onmiddellijke nabijheid van de berging (op ongeveer 10 m t.o.v. de muren van de modules) met een verwachte reistijd < 5 jaar;
- Gordel 2: Observatieputten op een afstand van ongeveer 70 tot 100 m t.o.v. de muren van de module en volgt voornamelijk de buitenste omheining. Verwachte reistijd tot deze tijdsgordel < 10 jaar;

- Gordel 3: Observatieputten gelegen ter hoogte van de grenzen van de terreinen van NIRAS, met een verwachte reistijd van 10 tot 25 jaar in de richting van de grondwaterstroming (in noordelijke richting zijn de observatieputten zo'n 350 m verwijderd van de modules).

Er werd toegezien dat de maximale afstand tussen twee aangrenzende observatieputten niet te groot is opdat gecontamineerde pluimen niet onopgemerkt zouden blijven (Figuur 16-1). Bij de keuze van het monitoring netwerk werd er ook rekening gehouden met een potentiële contaminatie van het grondwater afkomstig van nabijgelegen nucleaire installaties. Externe contaminatie die de grenzen van de bergingssite overschrijdt zal dus via één van zijn tijdsgordels gedetecteerd worden.



Figuur 16-1 – Ligging van de tijdsgordels en mogelijke locaties voor de observatieputten op de verschillende tijdsgordels voor de oostelijke tumulus

De observatieputten uit de eerste en derde tijdsgordel zullen alleen in de bovenste watervoerende laag (bestaande uit Quartair, Mol en Kasterlee zand) één of meerdere filtergedeeltes hebben, want het is deze watervoerende laag die de primaire receptor van potentiële contaminatie afkomstig van de bergingsinstallatie vormt, en omdat de lager gelegen watervoerende laag (bestaande uit Diest, Berchem, en Voort zand) hydraulisch gescheiden is van de bovenste door middel van de Kasterlee kleilaag. Bepaalde observatieputten van de tweede tijdsgordel bevatten toch enkele filtergedeeltes in de lager gelegen watervoerende laag, dit wegens het voorzorgsprincipe. De aanbevolen diepte voor de waterputten in de bovenste watervoerende laag is ongeveer 20 m voor de eerste tijdsgordel en 30 m voor de tweede en derde tijdsgordel. De observatieputten van de eerste en tweede tijdsgordel zullen uitgerust worden met meerdere filtergedeeltes op verschillende dieptes, waarbij staalname op de bovenste twee filtergedeeltes met een hogere frequentie zal gebeuren dan op de lager gelegen filtergedeeltes. De observatieputten van de derde tijdsgordel zullen slechts één lang filtergedeelte bevatten. Indien nodig, kunnen bijkomende observatieputten geïnstalleerd worden met meerdere filtergedeeltes.

Vóór de sluitingsfase ligt de klemtoon op de monitoring van het drainagewater, met als gevolg dat tot dan minder observatieputten vereist zijn. De installatie van de observatieputten zal dan ook gefaseerd gebeuren.

- Voor het uitvoeren van referentiemetingen zijn momenteel vier observatieputten geïnstalleerd: M-11, M-22, M-26 en M-33. Eén van deze observatieputten, de M-11, bereikt de lager gelegen watervoerende laag. In het totaal worden vijf waterstalen genomen (m.n. vier in de boven gelegen en één in de lager gelegen watervoerende laag) waarvan de resultaten zullen gebruikt worden voor de berekening van de referentiewaarden;
- Na constructie van de eerste set van modules worden de eerste vier observatieputten van de eerste tijdsgordel geïnstalleerd;
- Na constructie van de tweede set van modules behorend tot de eerste tumulus van 20 modules worden de laatste vier observatieputten van de eerste tijdsgordel geïnstalleerd.
- Vóór de aanvang van de sluitingsfase: vervollediging van de tweede tijdsgordel (waarvan een aantal observatieputten eveneens de lager gelegen watervoerende laag bereiken);
- Vóór de aanvang van de nucleaire reglementaire controlefase: vervollediging van de derde tijdsgordel.

Typische achtergrondwaarden van grondwater worden weergegeven in § 16.4.7, Tabel 16-12. Deze waarden worden in het kader van het radiologisch monitoring programma nog bevestigd of opnieuw bepaald d.m.v. referentiemetingen.

Het monitoringprogramma op het oppervlaktewater en sedimenten werd eveneens gebaseerd op uitlogings- en het grondwatertransportsimulaties, waar aangetoond kan worden dat het grootste aandeel van de uitgeloopte radionucliden terecht komt in de Witte Nete [HS-14] § 14.4.5.5.1.2. Om betrouwbare referentiewaarden te bekomen langsheen het verloop van de Witte Nete/Kleine Nete, wordt het nemen van monsters in de tijd op vaste locaties voorgesteld. Daar er zich meerdere vijvers bevinden tussen de bergingsinstallatie en de ‘Witte Nete’ worden zij eveneens opgenomen in het monitoringprogramma. Drie vijvers zullen bijkomend gemonitord worden.

Bemonstering van oppervlaktewater en sedimenten betreft:

- rivier ‘Witte Nete/Kleine Nete’;
- vijvers ten noorden van de bergingsinrichting;
- ‘Kanaal Bocholt – Herentals’ en ‘Hooibeek’ (beide waterlopen zijn geen uitmondingszones van potentiële contaminatie afkomstig van de bergingsinstallatie maar worden bemonsterd vanwege het voorzorgsprincipe).

De bemonstering van sedimenten gebeurt zowel van de bedding als van de oever.

De bemonsteringspunten zijn aangeduid op het plan APDMON_GCTE_013A, opgenomen in [OD-237].

16.4.5.7 Voor- en nadelen analyse met betrekking tot de installatie van observatieputten in de afdekking en de hierbij gepaarde invloed op de langetermijnveiligheid

De observatieputten van de eerste tijdsgordel bieden volgende voordelen:

- De detectie van potentiële contaminatie van het grondwater door het opmeten van de concentratie aan radionucliden en voorlopers van radiologische contaminatie, waarbij de gemeten waarden vergeleken worden met de referentiewaarden;
- De observatieputten kunnen helpen bij de periodieke opvolging van de geotransferfactoren (enkel indien er gekozen wordt voor de installatie van Single Level Samplers);
- Het monitoringsysteem (en meer bepaald de groep van observatieputten die naast de modules voorzien zijn) geeft een vroege waarschuwing van onverwachte vrijzetting van contaminanten vanuit de berging. Dit geeft de exploitant de tijd om de nodige correctieve acties te ondernemen voordat de gecontamineerde pluim de grenzen van de bergingssite zal bereiken;
- De belangrijkste nadelen zijn verbonden met de continuïteit waarmee de observatieputten van de eerste tijdsgordel tot aan beëindiging van de nucleaire reglementaire controlefase zullen opgevolgd worden. De observatieputten worden geïnstalleerd vóór de aanvang van de exploitatiefase Ia en moeten toegankelijk blijven tijdens de daaropvolgende periodes en fases, d.i. ook na de realisatie van de ophoging aan de zijden en de afdekking. Bijgevolg moeten de observatieputten verlengd worden tot aan het uiteindelijke oppervlak of afhankelijk van hun toestand zullen oude observatieputten vervangen worden door nieuwe. Dit brengt volgende nadelen met zich mee:
- Tijdens de installatie van de ophoging aan de zijden en de verschillende lagen van de afdekking zal in de omgeving van de (verlengde) observatieputten een uitzonderlijke zorg noodzakelijk zijn wat betreft de plaatsing en de verdichting van de aangebrachte materialen;
- De aanwezigheid van de observatieputten kan preferentiële paden veroorzaken in de afdekking, daar waar water langsheen de verlengingsbuizen kan sijpelen. De impact op de integriteit van de afdekking zal echter beperkt blijven, aangezien de observatieputten zich op een voldoende afstand van de rand van de modules (~ 10 m) bevinden.

NIRAS is hierdoor van oordeel dat de voordelen groter zijn dan de potentiële nadelen.

16.4.6 Type van monitoring versus type media

Onderstaande Tabel 16-11 geeft een overzicht van de verschillende type media samen met hun monitoring- en bemonsteringslocaties, en met welk type van monitoring deze overeenkomen.

Tabel 16-11: Overzichtstabel van de verschillende type media samen met hun monitoring- en bemonsteringslocaties, en met welk type van monitoring deze overeenkomen.

Media	Beschrijving	Operationele monitoring			Omgevingsmonitoring
		Bron	Werkplaats	Alertheid	
Externe straling	Passieve dosimeters op de grenzen van de gecontroleerde zone (i.e. binnenste omheining)	X			
	Passieve dosimeters op de grenzen van de bewaakte zone (i.e. buitenste omheining)	X			X
	Aan de noordzijde en zuidzijde van de bergingsite, op een zeker afstand				X
	Op de passerel (2 ^{de} niveau) tussen de twee rijen van modules.	X	X		
	In de inspectiegalerij	X	X		
	In de bijgebouwen aanwezig op de bergingsite		X		
	Actieve dosisdebieter op de locatie van een representatief persoon (i.e. ten noorden op de buitenste omheining)	X		X	X
Actieve dosisdebieters aan de bovenkant van beide rolbruggen	X	X	X		
Omgevingslucht	Passieve bemonstering omgevingslucht aërosolen - tritium en ¹⁴ C – radon ten noorden en zuiden bergingsinstallatie				X
	Passieve bemonstering omgevingslucht aërosolen – tritium – radon in de gele zone van de oppervlaktebergingsinrichting		X	X	X
	Passieve bemonstering radon op de passerel (2 ^{de} niveau) tussen de twee rijen van modules.		X		
	Actieve monitoring radon		X		
Depositie	Depositiebemonstering ten noorden en zuiden van de bergingsinstallatie				X
Grondwater	Observatieputten eerste tijdsgordel			X	
	Observatieputten tweede tijdsgordel			X	X
	Observatieputten derde tijdsgordel				X
Oppervlaktewater	Witte Nete/Kleine Nete, Kanaal Bocholt – Herentals, Hooibeek, vijvers				X
Sedimenten	Witte Nete/Kleine Nete, Kanaal Bocholt – Herentals, Hooibeek, vijvers				X
Drainagewater [zie § 16.6]	Bemonstering van de drie types van recipiënten			X	

16.4.7 Referentietoestanden

De voorlopige waarden voor de referentietoestanden worden in onderstaande Tabel 16-12 gegeven. De referentiewaarden worden op reeds uitgevoerde metingen gebaseerd (maximale waarde of waarde gebaseerd op *expert judgement*). Bijkomende metingen zijn voorzien en definitieve referentiewaarden zullen nadien bepaald worden.

Tabel 16-12 – Overzicht van de referentietoestanden

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
Omgevingsstraling	Dosistempo [nSv/h] site en omgeving	Eenmalig (april 2011) - draagbare dosisdebietmeter	Bergingssite en directe omgeving	< 70 nSv/h	< 100 nSv/h	§2.1 [OD-257]
		Eenmalig (mei 2000) - gammadetectoren geplaatst in helikopter	Nucleaire zone Mol-Dessel	circa 50 nSv/h		§5.6.6, blz. 98 [OD-244]
		Eenmalig (oktober 2000) - draagbare dosisdebietmeter	Omgeving van nucleaire zone Mol-Dessel	circa 60 nSv/h (100 nSv/h en uitzonderlijk tot 150 nSv/h : natuurlijke radioactiviteit in wegbedekking)		§5.7, blz.99-102 [OD-244]
		Integratie over een trimester en gemiddelde over jaar (2010)	Omgeving van site BP1	Circa 70 nSv/h (100 nSv/h bij natuurlijke radioactiviteit in bouwmaterialen)		§4.3.1 [R16-3]
		Gemiddelde over een jaar (2013)	Vlaanderen	80 – 100 nSv/h		§1.4 [R16-6]
		Gepland bij einde van constructie (effect modules, ophoging en veranderde situatie BN, FBFC, IPM) - draagbare dosisdebietmeter	Bergingssite	Te bepalen		-
		Gepland vanaf 2018 (effect van ontsluitingsweg, metingen zowel	Bergingssite + omgeving (zie [OD-237])	Te bepalen		-

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
		zonder als met modules aanwezig) – integrerende dosismeting				
	Dosistempo [nSv/h] modules	Gepland bij einde van constructie	Boven de modules onder het dak	Te bepalen	Te bepalen	-
	Dosistempo [nSv/h] inspectiegalerij	Gepland bij einde van constructie	Inspectieruimte	Te bepalen	Te bepalen	-
Atmosfeer – aërosolen	Alfa-totaal [mBq/m ³] aërosolen site en omgeving	Maandelijkse filters 2000-2010	Gemeentehuis Dessel	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gemiddelde in 2010: 0,06 mBq/m³ ■ Maximum in 2010: 0,11 mBq/m³ ■ Jaargemiddelden 2000- 2010: 0,03-0,06 mBq/m³ 	< 0,06 mBq/m ³	§4.2.2 en tabel 10 [R16-3]
		Maandelijks 2010	3 locaties op site BP2	<ul style="list-style-type: none"> ■ Jaargemiddelde BP2: 0,06 mBq/m³ ■ Jaargemiddelden op verschillende plaatsen: 0,05-0,08 mBq/m³ 		§4.2.1 [R16-3]
		Dagelijks 2013	Omgeving Mol-Dessel	0,01 – 0,02 mBq/m ³		§2.4.2, §4.1 [R16-6]
		Gepland na aanleg van ophoging (maandelijks, min. 1 jaar)	Bergingssite	Te bepalen		-
	Alfa isotopische analyse Ra-226	Gepland na aanleg van ophoging (jaarlijks, min. 1 maal, staal met hoogste alfa- en beta	Bergingssite	Te bepalen	Te bepalen	-

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
	U-234/235/238 , Pu-238-(239+240), Am-241 [mBq/m ³] aërosolen site en omgeving	activiteit)				
	Gamma spectrometrie Omvat minstens Cs-137, Am-241 [mBq/m ³] aërosolen site en omgeving	Gepland na aanleg van ophoging (trimestrieel, min. 4 trimesters)	Bergingssite	Te bepalen	Te bepalen	-
Atmosfeer – aërosolen	Beta-totaal [mBq/m ³] aërosolen site en omgeving	Maandelijkse filters 2000-2010	Gemeentehuis Dessel	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gemiddelde in 2010: 0,39 mBq/m³ ■ Maximum in 2010: 0,51 mBq/m³ ■ Jaargemiddelden 2000-2010: 0,22-0,39 mBq/m³ 	< 0,7 mBq/m ³	§4.2.2 en tabel 10 [R16-3]
		Maandelijks 2010	3 locaties op site BP2	<ul style="list-style-type: none"> ■ Jaargemiddelde BP2: 0,65 mBq/m³ ■ Jaargemiddelden op verschillende plaatsen: 0,57-0,79 mBq/m³ 		§4.2.1 [R16-3]
		Dagelijks 2013	Omgeving Mol-Dessel	0,1 – 0,7 mBq/m ³		§2.4.2, §4.1 [R16-6]
		Gepland na aanleg van ophoging (maandelijks min. 1	Bergingssite	Te bepalen		-

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
		jaar)				
	Beta isotopische analyse Sr-90, Y-90 [mBq/m ³] aërosolen site en omgeving	Gepland na aanleg van ophoging (jaarlijks, min. 1 maal, staal met hoogste alfa- en beta activiteit)	Bergingssite	Te bepalen	Te bepalen	-
Atmosfeer – gassen	Radon [Bq/m ³] atmosfeer site en omgeving	1993 - 2000	Golfterrein achter SCK	5 – 15 Bq/m ³	< 46 Bq/m ³	§4.4.3 [OD-244]
		Driemaandelijks 2008 - 2010	Omgeving van Belgoproces	< 46 Bq/m ³		§4.1.2, tabel 7 [R16-3]
		Gepland vanaf 2018 (driemaandelijks, effect van ontsluitingsweg)	Bergingssite (5) (zie [OD-237])	Te bepalen		-
Atmosfeer – gassen	Radon [Bq/m ³] atmosfeer modules	Gepland bij einde van constructie	Boven de modules onder het dak	Te bepalen	Te bepalen	-
	Radon [Bq/m ³] atmosfeer inspectiegalerij	Gepland bij einde van constructie	Inspectieruimte	Te bepalen	Te bepalen	-
	H-3 [Bq/m ³] atmosfeer site en omgeving	Gepland na aanleg van ophoging (wekelijks)	Noordrand van bergingssite (1) (zie [OD-237])	Te bepalen	Te bepalen	-
	C-14 [Bq/m ³] atmosfeer site en omgeving				Te bepalen	-

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
Atmosfeer - depositie	Alfa-totaal [Bq/m ²] atmosferische depositie site en omgeving	Om de vier weken 2013	Omgeving Mol-Dessel	Filtraat: 0,03 – 1,1 Bq/m ² Afzetting filter: 0,03 – 0,08 Bq/m ²	< 1,1 Bq/m ²	§2.4.2, §4.1 [R16-6]
		Gepland na aanleg van ophoging (maandelijks)	Bergingssite (zie [OD-237])	Te bepalen		-
	Alfa isotopische analyse Ra-226/228, U-234/235/238 Pu-238-(239+240), Th-228/232, Am-241 [Bq/m ²] atmosferische depositie site en omgeving	Gepland na aanleg van ophoging (1-malig, staal met hoogste alfa- en beta activiteit)	Bergingssite	Te bepalen	Te bepalen	-
		Om de vier weken 2013	Omgeving Mol-Dessel	Filtraat: 0,4 – 20 Bq/m ² Afzetting filter: 0,14 – 2,6 Bq/m ²	< 20 Bq/m ²	§2.4.2, §4.1 [R16-6]
	Beta-totaal [Bq/m ²] atmosferische depositie site en omgeving	Gepland na aanleg van ophoging (maandelijks)	Bergingssite (zie [OD-237])	Te bepalen		-
	Beta isotopische analyse Sr-90, Y-90 [Bq/m ²] atmosferische depositie site en omgeving	Gepland na aanleg van ophoging (1-malig, staal met hoogste alfa- en beta activiteit)	Bergingssite	Te bepalen	Te bepalen	-
		Om de vier weken 2013	Omgeving Mol-Dessel	Niet meetbaar	Te bepalen	§2.4.2, §4.1 [R16-6]
Gamma isotopische analyse Omvat minstens Cs-137, Am-241 [Bq/m ²] atmosferische depositie site en omgeving	Gepland na aanleg van ophoging (4 trimesters)	Bergingssite	Te bepalen	-		
Grondwater	Alfa totaal [Bq/L]	Eenmalig – freatisch grondwater	Bergingssite en directe omgeving	< 0,48 Bq/L	< 0,5 Bq/L	§3.2 [OD-245]

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
	grondwater site en omgeving	2006 - 2008				
		Eenmalig - grondwater	Omgeving bergingssite	<0,2 Bq/L		§7.4.4 [OD-051]
		Eenmalig + evolutie over 3 maanden van een aantal peilputten - grondwater 2003	Bergingssite en omgeving	0,02 – 0,35 Bq/L		§4 [R16-7]
		Gepland vanaf 2018 - grondwater	Bergingssite en omgeving (4) (zie [OD-237])	Te bepalen		-
	Alfa/gamma isotopische analyse Ra-226/228, U-234/235/238, Pu-238-(239+240), Th-228/232, Am-241 [Bq/L] grondwater site en omgeving	Eenmalig – freatisch grondwater 2008	Bergingssite en omgeving	Ra-226: <0,53 Bq/L Ra-228: < 0,33 Bq/L U-234: <4,1 mBq/L U-235: <0,26 mBq/L U-238: <4,6 mBq/L Pu-238: <0,15 mBq/L Pu-239/240 : < 0,15 mBq/L Th-228: <0,27 Bq/L Am-241: < 0,3 mBq/L	Ra-226 < 0,53 Bq/L Ra-228 < 0,33 Bq/L U-234 < 4,1 mBq/L U-235 < 0,26 mBq/L U-238 < 40 mBq/L Pu-238 < 0,15 mBq/L	§3.2, Bijlage 3 [OD-245]
		Eenmalig - grondwater	Omgeving bergingssite	Ra-226: <0,045 Bq/L Ra-228: <0,32 Bq/L U-234 (1 meting): 3,5 mBq/L U-235(1 meting): 0,16 mBq/L U-238: <40 mBq/L Th-228: <0,198 Bq/L Th-232: <0,012 Bq/L	Pu-239/240 < 0,15 mBq/L Th-228 < 0,27 Bq/L Th-232 < 0,012 Bq/L Am-241 < 0,3 mBq/L	§7.4.4 [OD-051]
		Gepland vanaf 2018 - grondwater	Bergingssite en omgeving (4) (zie	Te bepalen		-

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
			[OD-237])			
Grondwater	Beta totaal [Bq/L] grondwater site en omgeving	Eenmalig – freatisch grondwater 2008	Bergingssite en directe omgeving	<1,1 Bq/L	< 1,1 Bq/L	§3.2 [OD-245]
		Eenmalig - grondwater	Omgeving bergingssite	<0,58 Bq/L		§7.4.4 [OD-051]
		Eenmalig + evolutie over 3 maanden van een aantal peilputten - grondwater 2003	Omgeving bergingssite	< 1,12 Bq/L		§4 [R16-7]
		Gepland vanaf 2018 - grondwater	Bergingssite en omgeving (4 locaties) (zie [OD-237])	Te bepalen		-
	Beta/gamma isotopische analyse Sr/Y-90, H-3, C-14, Cl-36, Tc-99, I-129, Cs-137, K-40, Co-60 [Bq/L] Grondwater site en omgeving	Eenmalig – freatisch grondwater 2008	Bergingssite en directe omgeving	K-40: < 2,8 Bq/L Cs-137: < 0,09 Bq/L Co-60: < 0,09 Bq/L	Sr/Y-90 te bepalen H-3 < 4,9 Bq/L C-14 < 3,16 Bq/L Cl-36 < 15 Bq/L Tc-99 te bepalen I-129 te bepalen Cs-137 < 0,09 Bq/L K-40 < 24 Bq/L Co-60 < 0,09 Bq/L	§3.2, Bijlage 3 [OD-245]
		Eenmalig - grondwater	Omgeving bergingssite	H-3: < 4,9 Bq/L C-14: < 3,16 Bq/L Cl-36: < 15 Bq/L K-40: < 23,9 Bq/L Co-60: < 0,09 Bq/L Cs-137: < 0,09 Bq/L		§7.4.4 [OD-051]
		Gepland vanaf 2018 - grondwater	Bergingssite en omgeving (4 locaties) (zie [OD-237])	Te bepalen		-
	Chemische indicatoren voor	Eenmalig - grondwater	Omgeving bergingssite	B < 0,112 mg/L	pH: te bepalen	§7.4.2 [OD-051]

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
	uitloging van radionucliden ■ pH [-] ■ EC [μ S/cm] ■ B [mg/L]	Gepland vanaf 2018 - grondwater	Bergingsite en omgeving (4 locaties) (zie [OD-237])	Te bepalen	EC: te bepalen B < 0,16 mg/L	-
Oppervlakte-water	Alfa totaal [Bq/L] oppervlaktewater omgeving	Maandelijks controle 1970-1981	Kanaal Bochol-Herentals (sas 5 en sas 7)	Over het algemeen < 0,1 Bq/L	< 0,1 Bq/L	Appendix §1.12/13 [OD-244]
		Maandelijks controle 1998-2000	Witte Nete (Boeretang)	< 0,1 Bq/L		Appendix §1.7 [OD-244]
		2-wekelijkse controle 2013	(regionaal) Molse Nete/ Grote Nete	< 0,052 Bq/L		§4.3 [R16-6]
		2-wekelijkse controle 2013	(regionaal) Winterloop/ Grote Laak	< 2,3 Bq/L		§4.3 [R16-6]
		Gepland vanaf 2018	2 punten Kanaal Bocholt-Herentals 2 punten Hooibeek 2 punten Witte Nete 3 vijvers §16.4.5.6	Te bepalen		-
	Beta totaal [Bq/L] oppervlaktewater omgeving	Maandelijks controle 1970-1981	Kanaal Bochol-Herentals (sas 5 en sas 7)	Over het algemeen < 0,5 Bq/L	< 0,5 Bq/L	Appendix §1.12/13 [OD-244]
Maandelijks controle 1998-2000	Witte Nete (Boeretang)	< 0,5 Bq/L	Appendix §1.7 [OD-244]			

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
		2-wekelijkse controle	(regionaal) Molve Nete/ Grote Nete	< 0,5 Bq/L		§4.3 [R16-6]
		2-wekelijkse controle	(regionaal) Winterloop/ Grote Laak	< 17,1 Bq/L		§4.3 [R16-6]
		Gepland vanaf 2018	2 punten Kanaal Bocholt-Herentals 2 punten Hooibeek 2 punten Witte Nete 3 vijvers §16.4.5.6	Te bepalen		-
Oppervlakte-water	Alfa/gamma isotopische analyse Ra-226/228, U-234/235/238, Pu-238-(239+240), Th-228/232, Am-241 [Bq/L] oppervlaktewater omgeving	Gepland vanaf 2018	2 punten Kanaal Bocholt-Herentals 2 punten Hooibeek 2 punten Witte Nete 3 vijvers §16.4.5.6	Te bepalen	Sr/Y-90 te bepalen H-3 < 70 Bq/L C-14 te bepalen Cl-36 te bepalen Tc-99 te bepalen I-129 te bepalen Cs-137 te bepalen K-40 te bepalen Co-60 te bepalen Ra-226 te bepalen Ra-228 te bepalen U-234 te bepalen U-235 te bepalen U-238 te bepalen Pu-238 te bepalen	-
	Chemische indicator voor uitloging van radionucliden: B [mg/L] oppervlaktewater omgeving					
	Beta/gamma isotopische analyse Sr/Y-90, H-3, C-14, Cl-36, Tc-99, I-129, Cs-137, K-40, Co-60 [Bq/L]	Maandelijkse controle 1970-1981	Kanaal Bochol-Herentals (sas 5 en sas 7)	H-3: < 70 Bq/L	Pu-239/240 te bepalen Th-228 te bepalen Th-232 te bepalen Am-241 te bepalen	Appendix §1.12/13 [OD-244]

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
	oppervlaktewater omgeving				B te bepalen	
		Maandelijkse controle 1998-2000	Witte Nete (Boeretang)	H-3: over het algemeen < 33 Bq/L		Appendix §1.7 [OD- 244]
Sedimenten	Alfa/beta totaal [Bq/kg] Alfa/gamma/beta isotopische analyse [Bq/kg] B [mg/kg] sedimenten van oppervlaktewater omgeving	Gepland vanaf 2018	2 punten Kanaal Bocholt-Herentals 2 punten Hooibeek 2 punten Witte Nete 3 vijvers §16.4.5.6	Te bepalen	Te bepalen	
		Om de vier weken 2013	Molse Nete	Cs-137: < 191 Bq/kg Am-241: < 40 Bq/kg Pu-239/240: < 22 Bq/kg Ra-226: < 80 Bq/kg Sr-90: niet meetbaar Tc-99: sporen K-40: < 240 Bq/kg		§4.3 [R16-6]
Bodem	Isotopische compositie [Bq/kg] en B [mg/kg] Bodem boven de grondwatertafel	Eenmalig	Site (19 locaties + diverse dieptes zie §4, §9.1 [R16-8])	Sr/Y-90 < 8 Bq/kg (§7.2 [R16-8], §6.2 [R16-9]) Cs-137: < 46,1 Bq/kg (§7.1 [R16-8], §6.1 [R16-9]) K-40: <239 Bq/kg (§7.1 [R16-8], §6.1 [R16-9]) Ra-226: <17,1 Bq/kg (§7.1 [R16-8], §6.1 [R16-9])	Sr/Y-90 < 8 Bq/kg Cs-137 < 46,1 Bq/kg K-40 < 239 Bq/kg Ra-226 < 17,1 Bq/kg Ra-228 < 13 Bq/kg U-234 < 15,2 Bq/kg U-235 < 1,1 Bq/kg U-238 < 11,3 Bq/kg	[R16-8], [R16-9], [R16- 10], [R16-11]

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
				Ra-228 <13 Bq/kg (§7.1 [R16-8], §6.1 [R16-9]) U-234: < 10,3 Bq/kg (§7.3 [R16-8], §6.3 [R16-9]) U-235 < 0,88 Bq/kg (§7.3 [R16-8], §6.3 [R16-9]) U-238: < 9,72 Bq/kg (§7.3 [R16-8], §6.3 [R16-9]) Pu-238: < 0,7 Bq/kg (§7.3 [R16-8], §6.3 [R16-9], [R16-10], [R16-11]) Pu-239/240: < 5,1 Bq/kg (§7.3 [R16-8], §6.3 [R16-9], [R16-10], [R16-11]) Th-228: <13,78 Bq/kg (§7.3 [R16-8], §6.3 [R16-9]) Th-230: <12,9 Bq/kg (§7.3 [R16-8], §6.3 [R16-9]) Th-232: < 11,3 Bq/kg (§7.3 [R16-8], §6.3 [R16-9]) Am-241 < 4 Bq /kg (§7.3 [R16-8], §6.3 [R16-9], [R16-10], [R16-11]) B: < 9,1 mg/kg (§7.4 [R16-8], §6.4 [R16-9])	Pu-238 < 9,4 Bq/kg Pu-239/240 < 88 Bq/kg Th-228 < 13,78 Bq/kg Th-230 < 12,9 Bq/kg Th-232 < 11,3 Bq/kg Am-241 < 48 Bq/kg B < 9,1 mg/kg	
			Gracht ten noorden van de site [R16-12], [R16-13]	U-234: < 15,2 Bq/kg U-235 : < 1,1 Bq/kg U-238: < 11,3 Bq/kg Pu-238: < 9,4 Bq/kg		[R16-12], [R16-13]

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

	Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentiewaarde	Ref.
				Pu-239/240: < 88 Bq/kg Am-241 < 48 Bq /kg		

16.4.8 Beschrijving van het radiologisch monitoringprogramma

Dit hoofdstuk geeft een gedetailleerde weergave van het radiologisch monitoringprogramma in termen van type media, monitorings- en staalnamelocaties, en monitoringsfrequenties van de te monitoren parameters.

Onderstaande opmerkingen zijn steeds geldig voor het radiologisch monitoring programma onafhankelijk van de fase waarin men zich bevindt:

Belangrijk om op te merken is dat bij een accidentele situatie waarbij radioactieve aerosolen en/of gassen kunnen vrijkomen in de atmosfeer het zwaartepunt van monitoring van de atmosferische transferweg verschuift naar de isotopen beschreven in § 16.4.4. In het geval andere analytische methoden beter geschikt zijn om bepaalde parameters te analyseren mogen deze methoden ook toegepast worden, e.g. ²⁴¹Am kan ook bepaald worden via gamma-spectroscopie.

16.4.8.1 Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de pre-operationele periode en de constructiefase

Het radiologisch monitoringprogramma gedurende de pre-operationele periode en de constructiefase bevat een brede matrix aan media en locaties. Het hoofddoel van monitoring is in dit geval het ‘referentiewaarden’ onderzoek ofwel de bepaling van de aanvangscondities inzake milieu (dit wil zeggen radiologische elementen en indicatoren van radiologische contaminatie). Met de bepaling van de referentiewaarden wordt ook rekening gehouden met de eventuele seizoensgerelateerde schommelingen en de eventuele surplus aan activiteit ten gevolge van de aanvoer van constructiematerialen vreemd aan de omgeving. Een overzicht van het programma is in Tabel 16-13 gegeven.

De momenteel voorziene monitoring- en staalnamelocaties worden weergegeven op de plannen in referentie [OD-237].

Tabel 16-13 – Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de pré-operationele periode en constructiefase

Monitoring activiteit	Analyse methode	Frequentie	Locatie(s)
Omgevingsstraling			
Terreinverkenning	Dosistempo	Enmalig (¹)	Terreinverkenning over de gehele site
Geïntegreerde dosis monitoring	Integrerende dosimeters	Trimestrieel	Tien ter hoogte van de toekomstige buitenste omheining; één ten noorden en één ten zuiden van de toekomstige bergingsinrichting, en twee op het toekomstige terrein waarop de bergingsinrichting zal gebouwd worden
Atmosfeer			
Atmosferische bemonstering - aerosolen	Alfa totaal en beta totaal (²)	Maandelijks (⁹)	één ten noorden van de bergingsinrichting.
	Alfa isotopische analyse (⁴)	Jaarlijks (¹⁵)	
	Beta isotopische analyse (⁵)		
	Gamma spectroscopie (⁶) (⁷)	Trimestrieel	

Monitoring activiteit	Analyse methode	Frequentie	Locatie(s)
Atmosferische bemonstering - gassen	Radon	Trimestrieel	vier ter hoogte van op de toekomstige buitenste omheining en één op het toekomstige terrein waarop de bergingsinrichting zal gebouwd worden.
	Tritium en ¹⁴ C (⁸)	Wekelijks	één ten noorden van de bergingsinrichting
Depositiëbemonstering	Alfa totaal en beta totaal (³)	Maandelijks (⁹)	één ten noorden van de bergingsinrichting
	Alfa isotopische analyse (⁴)	Jaarlijks (¹⁵)	
	Beta isotopische analyse (⁵)		
	Gamma spectroscopie (⁶)	Trimesterieel	
Grondwater			
Bemonstering grondwater	Alfa totaal en beta totaal (³)	Trimestrieel	Twee op de tweede tijdsgordel en twee op de derde tijdsgordel.
	Alfa spectroscopie (⁴) (¹⁰)		
	Beta spectroscopie (⁵) (¹⁰)		
	Beta spectroscopie – Lage energie beta stralers (¹¹)		
	Gamma spectroscopie (⁶)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (¹²)		
Oppervlaktewater			
Bemonstering oppervlaktewater	Alfa totaal en beta totaal (³)	Trimestrieel (met name H34, H37 & H38) en Semestrieel	Twee bemonsteringspunten worden uitmondingszone van het potentieel besmet grondwater in de Witte Nete/Kleine Nete; Twee in de Hooibek en twee in het kanaal Bochoit – Herentals; drie in vijvers ten noorden van de bergingsinrichting
	Alfa spectroscopie (⁴) (¹³)		
	Beta spectroscopie (⁵) (¹³)		
	Beta spectroscopie – Lage energie beta stralers (¹¹)		
	Gamma spectroscopie (⁶)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (¹²)		
Sedimenten			
Bemonstering sedimenten	Alfa isotopische analyse (⁴)	Trimestrieel (H34), Semestrieel (H35, H36, H41, H42)Maandelijks (¹⁴)	Twee bemonsteringspunten worden uitmondingszone van het potentieel besmet grondwater in de Witte Nete/Kleine Nete; Twee in de Hooibek en twee in het kanaal Bochoit – Herentals; drie in vijvers ten noorden van de bergingsinrichting
	Beta isotopische analyse (⁵)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (¹¹)		
	Gamma spectroscopie (⁶)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (¹²)		

Monitoring activiteit	Analyse methode	Frequentie	Locatie(s)
Bodem			
Eénmalige bemonsterings-campagne van bodem diepteprofielen	Gammaspectroscopie, alfa isotopische analyse en ICP-AES voor B	Eénmalig	Verschillende locaties op de site (zie [R16-8])

Legende Tabel 16-13:

- ¹ Éénmalig tijdens de pré-operationele periode
- ² Alfa (T) en beta (T) activiteit: De totale gemeten alfa- en beta activiteit in een monster; de kortlevende radon vervalproducten worden uitgesloten door middel van een voldoende lange wachttijd (e.g. vijf dagen) tussen bemonstering en meting. Enkel voor beta (T): afhankelijk van de meetmethode worden tritium en andere lage energie beta-stralers niet meegenomen in het meetresultaat.
- ³ waaronder ook de residuele beta-activiteit. Indien de analyses van de stalen voor alfa-totaal en beta-totaal een waarde teruggeven die beneden de detectielimiet ligt, kan de spectroscopische analyse achterwege gelaten worden.
- ⁴ Alfa isotopische analyse omvat:
 - * Luchtpartikels en depositiebemonstering: ^{226}Ra ; $^{234-235-238}\text{U}$; $^{238-(239+240)}\text{Pu}$; ^{241}Am
 - * Grondwater-, Oppervlaktewater- en sedimentbemonstering: $^{226-228}\text{Ra}$; $^{228-232}\text{Th}$; $^{234-235-238}\text{U}$; $^{238-(239+240)}\text{Pu}$; ^{241}Am
- ⁵ Beta isotopische analyse omvat: ^{90}Sr - ^{90}Y
- ⁶ De isotopen bibliotheek voor het uitvoeren van gamma spectroscopische analyses bevatten minstens de volgende isotopen:
 - * Luchtpartikels en depositiebemonstering: ^{137}Cs ; ^{241}Am
 - * Grondwater-, Oppervlaktewater- en sedimentbemonstering: ^{40}K ; ^{137}Cs ; ^{241}Am
- ⁷ Samenstelling van de filters van het afgelopen trimester
- ⁸ Dagelijkse bemonstering behoort ook tot de mogelijkheid, dit hangt af van de gekozen bemonsteringsmethode.
- ⁹ Wekelijkse bemonstering (of meer frequent bij periodes van hevige neerslag), maandelijkse analyse.
- ¹⁰ Vaste bemonsteringspunten zullen gedurende de volledige levensduur van de bergings-inrichting gebruikt worden als referentiepunten.
- ¹¹ Beta isotopische analyse van lage energie beta-stralers omvat: ^3H en potentieel ^{14}C ; ^{36}Cl ; ^{99}Tc ; ^{129}I
- ¹² De voorlopers van radiologische contaminatie omvat: pH; EC; B; (^3H)
- ¹³ Uit te voeren op vaste locaties.
- ¹⁴ Vijvers en kanaal: trimesteriële en semesteriële bemonstering, jaarlijkse analyse, Waterlopen: Maandelijkse bemonstering, jaarlijkse analyse. Bij contaminatie worden de genomen stalen retrospectief geanalyseerd om het startpunt van de contaminatie vast te stellen.
- ¹⁵ Analyse gebeurt op het staal van het afgelopen jaar met de hoogste alfa- en beta-activiteit.

16.4.8.2 Het radiologisch monitoring programma tijdens de exploitatiefase Ia

Monitoring tijdens de exploitatiefase Ia betekent voornamelijk een voortzetting van de periodieke monitoringsactiviteiten uitgevoerd tijdens de pre-operationele periode en constructie fase. Deze worden aangevuld met nieuwe monitoringsactiviteiten ten gevolge van het inbrengen van afval in de bergingsinstallatie en zijn de volgende:

- periodieke dosistempomonitoring;
- continu dosistempo monitoring;
- actieve radonmonitoring;
- aanvullende geïntegreerde dosismonitoring;
- bemonstering van de omgevingslucht in de zone van de bergingsinrichting;
- afname bemonsteringsfrequentie grondwater, oppervlaktewater en sedimenten.

Een overzicht van het monitoringprogramma is in Tabel 16-14 gegeven.

De momenteel voorziene monitoring- en staalnamelocaties worden weergegeven op de plannen in referentie [OD-237].

Tabel 16-14 – Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de exploitatiefase Ia

Monitoringactiviteit	Analysemethode	Frequentie	Locatie(s)
Omgevingsstraling			
Geïntegreerde dosismonitoring	Integrerende dosimeters	Trimestrieel	Tien ter hoogte van de buitenste omheining; zes ter hoogte van de binnenste omheining; één ten noorden en één ten zuiden van de bergingsinrichting, één tijdelijke op de binnenste omheining ter hoogte van de reeds bestaande modules en de modules in aanbouw; één in het NIRAS administratief gebouw; één in de werkatelier; twee op de passerel tussen de twee modules in opvulling (2 ^{en} niveau) en twee in de inspectiegalerij.
		Maandelijks	Vier in het verlengde van de monoliet ontladingszone ter hoogte van de binnenste en buitenste omheining
Periodieke dosistempometingen	Dosistempo	Wekelijks	Ter hoogte van de buitenste en binnenste omheining over geheel de lengte van de modules in opvulling en dit voor de vier zijden (N, W, Z, O)
Continu dosistempomonitoring	Dosistempo	Continu	Vier tussen de modules in operatie en één ten noorden van de bergingsinstallatie.
Atmosfeer			
Atmosferische bemonstering - aërosolen	Alfa totaal en beta totaal (¹)	Wekelijks	één ten noorden en één ten zuiden van de bergingsinrichting
	Alfa isotopische analyse (²) (³)	/	
	Beta isotopische analyse (²) (⁴)	/	
	Gamma spectroscopie (⁵) (⁶)	Trimestrieel	

Monitoringactiviteit	Analysemethode	Frequentie	Locatie(s)
	Alfa totaal en beta totaal (¹)	Wekelijks	Één ter hoogte van de gele zone ¹⁶
Atmosferische bemonstering - gassen	Radon passief	Trimestrieel	één ten noorden en één ten zuiden van de bergingsinrichting; en twee op de passerel tussen de vier modules in opvulling (2 ^{de} niveau)
	Radon actief	Continu	Één in de inspectiegalerij
	Tritium en ¹⁴ C (⁷)	Wekelijks	één ten noorden en één ten zuiden van de bergingsinrichting
	Tritium en Radon	Wekelijks	Één ter hoogte van de gele zone ¹⁶
Depositiebemonstering	Alfa totaal en beta totaal (¹⁰)	Maandelijks (⁸)	één ten noorden en één ten zuiden van de bergingsinrichting
	Alfa isotopische analyse (²) (³)	/	
	Beta isotopische analyse (²) (⁴)	/	
	Gamma spectroscopie (⁶)	Maandelijks (⁸)	
Grondwater			
Bemonstering grondwater	Alfa totaal en beta totaal (¹⁰)	Jaarlijks	acht op de eerste tijdsgordel; twee op de tweede tijdsgordel en twee op de derde tijdsgordel.
	Alfa isotopische analyse (²) (³) (¹¹)		
	Beta isotopische analyse (²) (⁴) (¹¹)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (¹²)		
	Gamma spectroscopie (⁶)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (¹³)		
Oppervlaktewater			
Bemonstering oppervlaktewater	Alfa totaal en beta totaal (¹⁰)	Semestrieel (met name H34, H37 & H38) en jaarlijks	Twee bemonsteringspunten worden uitmondingszone van het potentieel besmet grondwater in de Witte Nete/Kleine Nete; Twee in de Hooibeek en twee in het kanaal Bocholt – Herentals; drie in vijvers ten noorden van de bergingsinstallatie
	Alfa isotopische analyse (²) (³) (¹⁴)		
	Beta isotopische analyse (²) (⁴) (¹⁴)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (¹²)		
	Gamma spectroscopie (⁶)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (¹³)		
Sedimenten			
Bemonstering sedimenten	Alfa isotopische analyse (³)	Semestrieel (H34), jaarlijks (H35, H36, H41, H42) en maandelijks (¹⁵)	Twee bemonsteringspunten worden uitmondingszone van het potentieel besmet grondwater in de Witte Nete/Kleine Nete; Twee in de Hooibeek en twee in het kanaal Bocholt – Herentals; drie in vijvers ten noorden
	Beta isotopische analyse (⁴)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (¹²)		

Monitoringactiviteit	Analysemethode	Frequentie	Locatie(s)
	Gamma spectroscopie (⁶)		van de bergingsinrichting
	Indicatoren van radiologische contaminatie (¹³)		

Legende Tabel 16-14:

- ¹ Alfa (T) en beta (T) activiteit: De totale gemeten alfa en beta activiteit in een monster; de kortlevende radon vervalproducten worden uitgesloten door middel van een voldoende lange wachttijd (e.g. vijf dagen) tussen bemonstering en meting. Enkel voor beta (T): afhankelijk van de meetmethode worden tritium en andere lage energie beta-stralers niet meegenomen in het meetresultaat.
- ² Alfa/beta isotopische analyses worden uitgevoerd wanneer alfa/beta (T) het actieniveau overschrijdt (§ 16.4.9.3).
- ³ Alfa isotopische analyse omvat:
- * Luchtpartikels en depositie bemonstering: ²²⁶Ra; ²³⁴⁻²³⁵⁻²³⁸U; ²³⁸⁻⁽²³⁹⁺²⁴⁰⁾Pu; ²⁴¹Am
 - * Grondwater, Oppervlaktewater en sediment bemonstering: ²²⁶⁻²²⁸Ra; ²²⁸⁻²³²Th; ²³⁴⁻²³⁵⁻²³⁸U; ²³⁸⁻⁽²³⁹⁺²⁴⁰⁾Pu; ²⁴¹Am
- ⁴ Beta isotopische analyse omvat: ⁹⁰Sr-⁹⁰Y
- ⁵ Samenstelling van de filters van het afgelopen trimester.
- ⁶ De isotopen bibliotheek voor het uitvoeren van gamma spectroscopische analyses bevatten minstens de volgende isotopen:
- * Luchtpartikels en depositie bemonstering: ¹³⁷Cs; ²⁴¹Am
 - * Grondwater, Oppervlaktewater en sediment bemonstering: ⁴⁰K; ¹³⁷Cs; ²⁴¹Am
- ⁷ Dagelijkse bemonstering behoort ook tot de mogelijkheid, dit hangt af van de gekozen bemonsteringsmethode.
- ⁸ Wekelijkse bemonstering (of meer frequent bij periodes van hevige neerslag), maandelijks analyse.
- ¹⁰ waaronder ook de residuele beta-activiteit
- ¹¹ Vaste bemonsteringspunten zullen gedurende de volledige levensduur van de bergingsinstallatie gebruikt worden als referentiepunten.
- ¹² Beta isotopische analyse van lage energie beta-stralers omvat: ³H en potentieel ¹⁴C; ³⁶Cl; ⁹⁹Tc; ¹²⁹I
- ¹³ De voorlopers van radiologische contaminatie omvat: pH; EC; B; (³H)
- ¹⁴ Uit te voeren op vaste locaties.
- ¹⁵ Vijvers en kanaal: semesteriële/jaarlijkse bemonstering, jaarlijkse analyse. Waterlopen: maandelijks bemonstering, jaarlijkse analyse.
- ¹⁶ Uit te voeren op variabele locaties in de gele zone, derhalve niet aangeduid op de plannen in [OD-237]

16.4.8.3 Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de exploitatiefase Ib

Radiologisch monitoringprogramma tot aan de realisatie van de afdekking

Het monitoringprogramma van toepassing gedurende deze korte periode is bijna analoog aan § 16.4.8.2. Onderstaande Tabel 16-15 geeft de monitoringactiviteiten weer welke, in vergelijking met het monitoringprogramma gedurende fase Ia, gestaakt zullen worden. Daarentegen zullen er twee extra dosimeters geplaatst worden ter hoogte van de buitenste omheining.

De momenteel voorziene monitoring- en staalnamelocaties worden weergegeven op de plannen in referentie [OD-237].

Tabel 16-15 – Gestaakte monitoringactiviteiten tijdens de exploitatiefase Ib (Tot aan de realisatie van de afdekking) vergeleken met het monitoringprogramma van toepassing tijdens de exploitatiefase Ia.

Monitoringactiviteit	Analysemethode	Locatie(s)
Geïntegreerde dosismonitoring	Integrerende dosimeters	twee in de inspectiegalerij; vier in het verlengde van de monoliet ontladingszone ter hoogte van de binnenste en buitenste omheining; zes op de binnenste omheining; twee op de passerel tussen de vier modules in opvulling (2 ^{de} niveau)
Periodieke dosistempometingen	Dosistempo	Ter hoogte van de buitenste en binnenste omheining over geheel de lengte van de modules in opvulling en dit voor de vier zijden (N, W, Z, O)
Continu dosistempo monitoring	Dosistempo	Vier tussen de modules in operatie en één ten noorden van de bergingsinrichting.
Atmosferische bemonstering aërosolen	– Alfatotaal en betatotaal	Eén ter hoogte van de gele zone
Atmosferische bemonstering - gassen	Radon passief	twee op de passerel tussen de vier modules in opvulling (2 ^{de} niveau)
Atmosferische bemonstering - gassen	Tritium en Radon	Eén ter hoogte van de gele zone

Radiologisch monitoringprogramma ná de realisatie van de afdekking

Door de plaatsing van de afdekking zullen er in normale omstandigheden geen monitoringactiviteiten meer plaatsvinden met betrekking tot de atmosferische component. Dit zal echter mede bepaald worden op basis van de resultaten van de voorgaande monitoringsactiviteiten. Daar het afval een finale configuratie bereikt heeft en daar de activiteiten op de berging beperkt blijven, zal er ook een drastische vermindering plaatsvinden van de geïntegreerde dosismetingen. De focus tijdens deze fase ligt onder andere op de collectie van het infiltratiewater in het drainagesysteem. Dit geeft een indicatie over de efficiëntie van de afdeklagen aangebracht op de module, de module zelf en de beperking van de waterinsijpeling tot in de modules. Zolang het drainagesysteem operationeel is, blijven de monitoringactiviteiten met betrekking tot de hydrogeologische component onaangeroerd.

Een overzicht van het monitoringprogramma is in Tabel 16-16 gegeven.

De momenteel voorziene monitoring- en staalnamelocaties worden weergegeven op de plannen in referentie [OD-237].

Tabel 16-16 – Radiologisch monitoringprogramma tijdens de exploitatiefase Ib, na de realisatie van de afdekking

Monitoringactiviteit	Analysemethode	Frequentie	Locatie(s)
Omgevingsstraling			
Geïntegreerde dosis monitoring	Integrerende dosimeters	Semestrieel	Twaalf ter hoogte van de buitenste omheining; één ten noorden en één ten zuiden van de bergingsinrichting; één in het NIRAS administratief gebouw; één in het werkatelier; één bovenop de tumuli
Continu dosistempo monitoring	Dosistempo	Continu	Één bovenop de tumuli
Atmosfeer			
Atmosferische bemonstering - gassen	Radon actief	Continu	één in de inspectiegalerij
Grondwater			
Bemonstering grondwater	Alfa totaal en beta totaal (¹)	Jaarlijks	acht op de eerste tijdsgordel; twee op de tweede tijdsgordel en twee op de derde tijdsgordel.
	Alfa isotopische analyse (²) (³) (⁶)		
	Beta isotopische analyse (²) (⁴) (⁶)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (⁸)		
	Gamma spectroscopie (⁵)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (⁹)		
Oppervlaktewater			
Bemonstering oppervlaktewater	Alfa totaal en beta totaal (¹)	Semestrieel (met name H34, H37 & H38) en jaarlijks	Twee bemonsteringspunten worden uitmondingszone van het potentieel besmet grondwater in de Witte Nete/Kleine Nete; Twee in de Hooibeek en twee in het kanaal Bochoit – Herentals; drie in vijvers ten noorden van de bergingsinstallatie
	Alfa isotopische analyse (²) (³) (⁷)		
	Beta isotopische analyse (²) (⁴) (⁷)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (⁸)		
	Gamma spectroscopie (⁵)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (⁹)		
Sedimenten			
Bemonstering sedimenten	Alfa isotopische analyse (³)	Semestrieel (H34), jaarlijks (H35, H36, H41, H42) en maandelijks (¹⁰)	Twee bemonsteringspunten worden uitmondingszone van het potentieel besmet grondwater in de Witte Nete/Kleine Nete; Twee in de Hooibeek en twee in het kanaal Bochoit – Herentals; drie in vijvers ten noorden van de bergingsinrichting
	Beta isotopische analyse (⁴)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (⁸)		
	Gamma spectroscopie (⁵)		
	Indicatoren van radiologische		

Monitoringactiviteit	Analysemethode	Frequentie	Locatie(s)
	contaminatie (⁹)		

Legende Tabel 16–16:

- ¹ waaronder ook de residuele beta-activiteit
- ² Alfa/beta isotopische analyses worden enkel uitgevoerd wanneer alfa/beta (T) het actieniveau overschrijdt (§ 16.4.9.3).
- ³ Alfa isotopische analyse omvat: ²²⁶⁻²²⁸Ra; ²²⁸⁻²³²Th; ²³⁴⁻²³⁵⁻²³⁸U; ²³⁸⁻⁽²³⁹⁺²⁴⁰⁾Pu; ²⁴¹Am
- ⁴ Beta isotopische analyse omvat: ⁹⁰Sr-⁹⁰Y
- ⁵ De isotopen bibliotheek voor het uitvoeren van gamma spectroscopische analyses bevatten minstens de volgende isotopen: ⁴⁰K; ¹³⁷Cs; ²⁴¹Am
- ⁶ Vaste bemonsteringspunten zullen gedurende de volledige levensduur van de bergingsinstallatie gebruikt worden als referentiepunten, d.w.z. dat hierop steeds een volledige en gedetailleerde analyse dient te gebeuren.
- ⁷ Uit te voeren op vaste locaties.
- ⁸ Beta isotopische analyse van lage energie beta-stralers omvat: ³H en potentieel ¹⁴C; ³⁶Cl; ⁹⁹Tc; ¹²⁹I
- ⁹ De voorlopers van radiologische contaminatie omvat: pH; EC; B; (³H)
- ¹⁰ Vijvers en kanaal: semesteriële/jaarlijkse bemonstering, jaarlijkse analyse. Waterlopen: maandelijks bemonstering, jaarlijkse analyse.

16.4.8.4 Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de sluitingsfase (fase II)

Wanneer na verloop van tijd de effectiviteit van het beperken van de waterinsijpeling tot in de modules voldoende aangetoond is, zal de volledige sluiting van de bergingsinstallatie aangevat worden. Dit houdt in dat de inspectieruimten en –galerij volledig worden opgevuld. Vanaf dit moment winnen de monitoringactiviteiten met betrekking tot de hydrogeologische component aan belang. Dit heeft voornamelijk de uitbreiding van het grondwatermeetnet tot gevolg en een (eventuele) verhoging van de staalnamefrequenties. Daar het nog steeds een nucleaire installatie betreft blijven de standaardmetingen van kracht, namelijk de geïntegreerde dosismetingen en de radonmonitoring (i.e. gedeelte inspectiegalerij welke nog toegankelijk is).

Een overzicht van het monitoringprogramma is in Tabel 16-17 gegeven.

De monitoring- en staalnamelocaties worden weergegeven op de plannen in referentie [OD-237].

Tabel 16-17 – Het radiologisch monitoring programma tijdens de sluitingsfase (fase II)

Monitoring activiteit	Analyse methode	Frequentie	Locatie(s)
Omgevingsstraling			
Geïntegreerde dosis monitoring	Integrerende dosimeters	Semestrieel	Twaalf ter hoogte van de buitenste omheining; één ten noorden en één ten zuiden van de bergingsinstallatie; één in het NIRAS administratief gebouw; één in het werkatelier; één bovenop de tumuli
Continu dosistempo monitoring	Dosistempo	Continu	Één bovenop de tumuli

Monitoring activiteit	Analyse methode	Frequentie	Locatie(s)
Atmosfeer			
Atmosferische bemonstering - gassen	Radon actief	Continu	één in de inspectiegalerij
Grondwater			
Bemonstering grondwater	Alfa totaal en beta totaal (¹)	Trimestrieel (eerste tijdsgordel)	acht op de eerste tijdsgordel; zestien op de tweede tijdsgordel en twee op de derde tijdsgordel.
	Alfa isotopische analyse (²) (³) (⁶)		
	Beta isotopische analyse (²) (⁴) (⁶)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (⁸)	Jaarlijks (tweede en derde tijdsgordel)	
	Gamma spectroscopie (⁵)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (⁹)		
Oppervlaktewater			
Bemonstering oppervlaktewater	Alfa totaal en beta totaal (¹)	Jaarlijks (m.n. H34, H37 & H38) en Twee-jaarlijks	Twee bemonsteringspunten worden uitmondingszone van het potentieel besmet grondwater in de Witte Nete/Kleine Nete; Twee in de Hooibeek en twee in het kanaal Bocholt – Herentals; drie in vijvers ten noorden van de bergingsinstallatie
	Alfa isotopische analyse (²) (³) (⁷)		
	Beta isotopische analyse (²) (⁴) (⁷)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (⁸)		
	Gamma spectroscopie (⁵)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (⁹)		
Sedimenten			
Bemonstering sedimenten	Alfa isotopische analyse (³)	Jaarlijks (H34), twee-jaarlijks (H35, H36, H41, H42) en maandelijks (¹⁰)	Twee bemonsteringspunten worden uitmondingszone van het potentieel besmet grondwater in de Witte Nete/Kleine Nete; Twee in de Hooibeek en twee in het kanaal Bocholt – Herentals; drie in vijvers ten noorden van de bergingsinstallatie
	Beta isotopische analyse (⁴)		
	Beta isotopische analyse – Lage energie beta stralers (⁸)		
	Gamma spectroscopie (⁵)		
	Indicatoren van radiologische contaminatie (⁹)		

Legende Tabel 16–17:

- ¹ waaronder ook de residuele beta-activiteit
- ² Alfa/beta isotopische analyses worden enkel uitgevoerd wanneer alfa/beta (T) het actieniveau overschrijdt (§ 16.4.9.3).
- ³ Alfa isotopische analyse omvat: ²²⁶⁻²²⁸Ra; ²²⁸⁻²³²Th; ²³⁴⁻²³⁵⁻²³⁸U; ²³⁸⁻⁽²³⁹⁺²⁴⁰⁾Pu; ²⁴¹Am
- ⁴ Beta isotopische analyse omvat: ⁹⁰Sr-⁹⁰Y

- ⁵ De isotopen bibliotheek voor het uitvoeren van gamma spectroscopische analyses bevatten minstens de volgende isotopen: ^{40}K ; ^{137}Cs ; ^{241}Am
- ⁶ Vaste bemonsteringspunten zullen gedurende de volledige levensduur van de bergingsinstallatie gebruikt worden als referentiepunten, d.w.z. dat hierop steeds een volledige en gedetailleerde analyse dient te gebeuren.
- ⁷ Uit te voeren op vaste locaties.
- ⁸ Beta isotopische analyse van lage energie beta-stralers omvat: ^3H en potentieel ^{14}C ; ^{36}Cl ; ^{99}Tc ; ^{129}I
- ⁹ De voorlopers van radiologische contaminatie omvat: pH; EC; B; (^3H)
- ¹⁰ Waterlopen: maandelijks bemonstering, jaarlijkse (H37, H38) en tweejaarlijkse (H39, H40) analyse, Vijvers: Jaarlijkse (H34) en tweejaarlijkse (H35 & H36) bemonstering en analyse, Kanaal: tweejaarlijkse bemonstering en analyse

16.4.8.5 Het radiologisch monitoringprogramma tijdens de nucleaire reglementaire controlefase

Monitoring gedurende de nucleaire reglementaire controlefase zal voornamelijk een voortzetting betekenen van het monitoring programma van toepassing gedurende de sluitingsfase, *met als enige verschil acht extra observatieputten op de derde tijdsgordel en de stopzetting van de actieve radonmonitoring in de inspectiegalerij*. Indien de monitoringsresultaten met de tijd voldoende bevredigend zijn kunnen de monitoringsactiviteiten en/of de frequenties afnemen. Wanneer door middel van monitoring voldoende vertrouwen gesteld kan worden in de insluitingscapaciteit van de bergingsinstallatie kan tot de beslissing overgegaan worden tot de opheffing van de nucleaire reglementaire controle.

De momenteel voorziene monitoring- en staalnamelocaties worden weergegeven op de plannen in referentie [OD-237].

16.4.9 Data-analyse en responsstelsel

16.4.9.1 Routine data-analyse

Alle monitoringgegevens afkomstig van de bergingsite zullen een volledige evaluatie ondergaan. Deze evaluatie houdt onder andere in:

- verificatie dat de metingen op een correcte manier zijn uitgevoerd en de gegevens volledig zijn;
- verificatie dat de voorgeschreven limieten niet overschreden worden;
- het identificeren van resultaten welke correctieve acties behoeven.

Wanneer er twijfel heerst over de correctheid van het bekomen resultaat en/of bij hoge foutenmarges en/of bij de overschrijding van bepaalde limieten is het aangeraden de correctheid van de betrokken parameter te verifiëren door:

- een herberekening van het resultaat;
- verificatie met vergelijkbare stalen;
- heranalyse van hetzelfde staal;
- of een herstaalname.

Alle data worden opgeslagen in een databeheersysteem (§ 16.3.3) en worden gebruikt voor de afleiding van statistische informatie zoals bijvoorbeeld de gemiddelde waarde, distributies, trends, enz... .

Jaarlijks wordt van de afgelopen 12 maanden een rapport opgesteld met daarin een samenvatting van de resultaten, de waargenomen trends, anomalieën (e.g. foutieve resultaten ten gevolge van een defect meettoestel, ...), alle overschrijdingen en de potentiële impact op de omgeving (zie ook § 16.3.4).

Wat het responsstelsel betreft wordt er een actieniveau (AN) gedefinieerd. Bij een overschrijding van het *actieniveau* is verder onderzoek vereist om na te gaan wat er gebeurd is, waarom het gebeurd is en welke conclusies er moeten getrokken worden. Op basis van de conclusies van dit onderzoek worden er vervolgens acties ondernomen. Bovendien vereist dit een onmiddellijke inlichting van de veiligheidsautoriteiten, en een schriftelijke rapportage binnen de 30 dagen waarin de oorzaak samen met reeds genomen en de te nemen correctieve maatregelen beschreven staan.

Deze actieniveaus worden vastgelegd met behulp van de vigerende wetgeving, veiligheidsstudies en veiligheidsmodellen.

Waar mogelijk worden de actieniveaus geoperationaliseerd op niveau van de monitoringparameters, i.e. bepalen van secundaire actieniveaus op de gemonitorde parameters vertrekkende van de primaire actieniveaus op de berekende parameters.

Een directe operationalisering is echter niet altijd mogelijk. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de tientallen grondwaterpeilen die binnen eenzelfde model uiteindelijk aanleiding geven tot één geotransferfactor en één verspreidingspluim per radionuclide (zie § 16.4.11). In deze gevallen wordt er een planning voorgesteld van de periodieke berekeningen van de berekende parameters waaraan actieniveaus gekoppeld zijn.

Bij het monitoren van parameters met betrekking tot de langetermijn- en operationele veiligheid moet men voorzichtig omgaan met de veronderstelling dat het bergingssysteem zich effectief gedraagt zoals voorzien werd in de veiligheidsevaluaties. Deze veiligheidsevaluaties gaan dikwijls gepaard met conservatieve aannames, om zo rekening te houden met allerhande onzekerheden. In vele gevallen zal monitoring andere resultaten opleveren dan deze bekomen uit veiligheidsevaluaties, over het algemeen wordt verwacht dat de monitoringresultaten zullen neigen naar minder conservatisme.

Wanneer men bij monitoring komt tot onverwachte resultaten kan dit leiden tot

- bijkomend onderzoek naar de oorzaken en potentiële impact;
- een herziening van de veiligheidsstudies en het monitoring- en toezichtsprogramma, indien blijkt dat bijkomende monitoring nodig is; en
- het nemen van de nodige correctieve acties.

16.4.9.2 Overschrijding van actieniveaus

Merk op dat bij een overschrijding van een AN dit niet steeds moet duiden op een probleem. Het belang van een onderzoek is dan ook het traceren van de oorzaak en kan zowel een externe (e.g. natuurlijk variaties in de achtergrond, invloed nabijgelegen nucleaire en klassieke bedrijven, nucleaire incidenten,...) als interne (e.g. falend meettoestel, falen bij bemonstering, ...) oorsprong hebben.

Acties volgend uit een overschrijding van een actieniveau

Wanneer een overschrijding van een actieniveau wordt vastgesteld zal dit aanleiding geven tot verder onderzoek opdat een verklaring kan gegeven worden aan deze onverwachte gedraging.

Bij een werkelijke verhoging van het meetresultaat waarbij de contributie van de bergingsinstallatie kan aangetoond worden dienen de vereiste acties ondernomen te worden om een toekomstige impact te minimaliseren. Een overschrijding van een actieniveau impliceert een rapportering aan de veiligheidsautoriteit, conform de richtlijnen van de veiligheidsautoriteiten [R16-19].

16.4.9.3 Definiëring van actieniveaus

Definiëring van actieniveaus

Actieniveaus worden gedefinieerd op basis van wettelijke limieten of berekende performantiefactoren:

- Een actieniveau kan gelijkgesteld worden aan een waarde die beschouwd wordt als een statistisch significante afwijking ten opzichte van een gekende achtergrondwaarde. Voor radionucliden met een gekende achtergrondwaarde, gebaseerd op voldoende metingen, wordt het actieniveau gelijk gesteld aan de gemiddelde achtergrondwaarde vermeerderd met 3 keer de standaardafwijking ($ON = \mu + 3\sigma$). Dit is het geval voor Alfa totaal, Beta totaal, ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{232}Th , en ^{238}U ;
- Voor radionucliden waarvan de achtergrondwaarde niet meetbaar is met de gebruikte meetmethodes (meetwaarde kleiner dan de detectielimiet), wordt het actieniveau gelijk gesteld aan de aantoonbaarheidsgrens (zie [R16-18]). Dit is het geval voor ^{14}C , ^{36}Cl , ^{60}Co , ^{137}Cs en ^{228}Ra ;
- Voor radionucliden waarvan de achtergrondwaarde gebaseerd is op één meting, wordt het actieniveau gelijkgesteld aan 10% van de radionuclidenconcentratie die een blootstelling veroorzaakt van 0,1 mSv/a:

$$AN = C = 0,1 \frac{H}{DFI \times V_{ing \text{ grondwater}}}$$

Met

H = jaarlijkse indicatieve dosis, gelijk gesteld aan de dosisbeperking 0,1 mSv/a [Sv/a]

DFI = dose factor ingestie [Sv/Bq]

$V_{ing \text{ grondwater}}$ = jaarlijkse volume ingenomen grondwater via ingestie, gelijkgesteld aan 730 L/a, conform bijlage 2 aan het KB van 31 mei 2016 [R16-18].

Dit is het geval voor ^{234}U en ^{235}U ;

- Voor radionucliden waarvoor geen achtergrondwaarde beschikbaar is, wordt het actieniveau eveneens gelijk gesteld aan 10 % van de radionuclidenconcentratie die een blootstelling veroorzaakt van 0,1 mSv/a. Dit is het geval voor $^{90}\text{Sr-Y}$, ^{99}Tc , ^{129}I , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ en ^{241}Am ;
- Voor tritium wordt het actieniveau gelijk gesteld aan 10 % van de limiet van 100 Bq/L in drinkwater. [R16-18].

Een overzicht van de actieniveaus die gelinkt zijn aan grondwater en oppervlaktewatermedia is gegeven in onderstaande Tabel 16-18.

Tabel 16-18 – Radionuclide specifieke actieniveaus voor zowel grondwater als oppervlaktewater media. RN = Radionuclide, AN = actieniveau.

RN	AN (Bq/L)	RN	ON (Bq/l)	RN	AN (Bq/L)
Alfa totaal	0,38	⁹⁰ Sr-Y	$4,5 \times 10^{-1}$	²³² Th	$2,5 \times 10^{-2}$
Beta totaal	1,04	⁹⁹ Tc	$2,2 \times 10^1$	²³⁴ U	$2,80 \times 10^{-1}$
³ H	10	¹²⁹ I	$1,3 \times 10^{-1}$	²³⁵ U	$2,90 \times 10^{-1}$
¹⁴ C	20	¹³⁷ Cs	0,5	²³⁸ U	$7,9 \times 10^{-2}$
³⁶ Cl	$1,53 \times 10^1$	²²⁶ Ra	$7,0 \times 10^{-2}$	²³⁸ Pu	6×10^{-2}
⁴⁰ K	$3,8 \times 10^1$	²²⁸ Ra	$2,00 \times 10^{-1}$	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	$5,5 \times 10^{-2}$
⁶⁰ Co	4	²²⁸ Th	$3,5 \times 10^{-1}$	²⁴¹ Am	7×10^{-2}

Actieniveaus met betrekking tot externe bestraling welke gelinkt zijn aan de radiologische zonering, worden gedefinieerd in Hoofdstuk 12 [HS-12] § 12.5.3.

16.4.9.4 Mogelijkheden tot wijziging van de data analyse en de actieniveaus

De verworven gegevens zullen op regelmatige basis onderworpen worden aan een evaluatie om zo aan continue verbetering te kunnen doen van het monitoringprogramma. Deze beoordeling kan leiden tot wijzigingen in de manier van bemonstering, analysemethodes, staalname locaties... Ook kunnen nieuwe actieniveaus opgelegd worden.

16.4.10 Kritieke monitoringsactiviteiten met betrekking tot veiligheid

Een oplijsting wordt gegeven van alle kritieke monitoringactiviteiten tijdens zowel de exploitatiefasen als op lange termijn.

- Operationele veiligheid;
- Dosis(tempo)metingen;
- monitoring aan de grenzen van de gecontroleerde en bewaakte zones;
- actieve monitoring boven beide rolbruggen;
- actieve monitoring op de locatie van een representatief persoon;
- Radon monitoring;
- actieve monitoring in de inspectiegalerij;
- Langetermijnveiligheid;
- metingen op het grondwater;
- metingen op het drainagewater (zie § 16.6).

Voor bovenstaande activiteiten zal de continuïteit van monitoring verzekerd moeten worden. Dit kan gebeuren met behulp van bijvoorbeeld redundante systemen, reservesystemen en/of onderdelen, onderhoudscontracten (zowel periodiek als bij falen) en robuuste monitoring (zie § 16.2.2) die aangesloten is op de noodgroep.

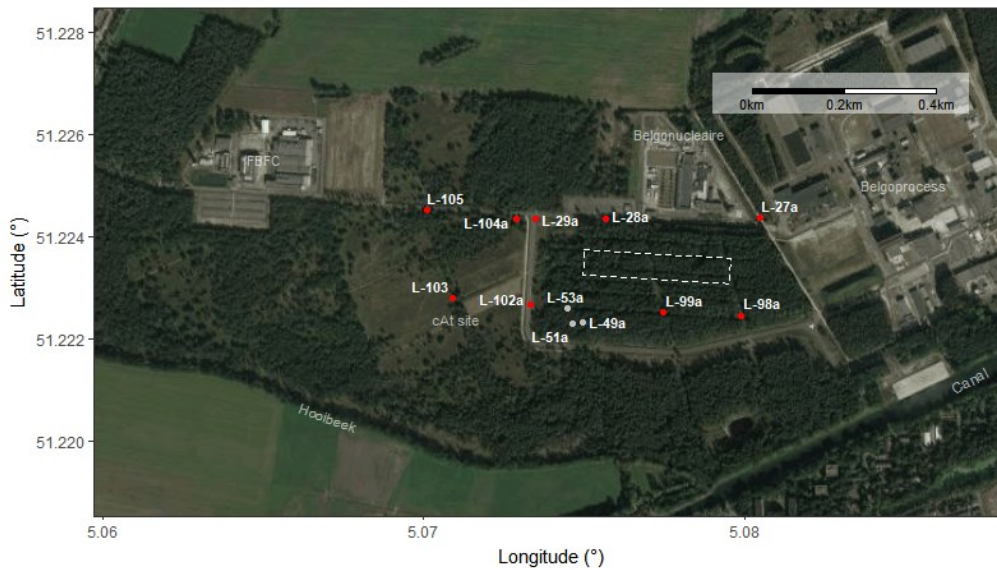
16.4.11 Periodieke update van de geotransferfactoren

De watervoerende laag onder de bergingsinstallatie is samengesteld uit zeer doorlatend zand wat kan zorgen voor een aanzienlijke dilutie en dispersie van potentiële contaminanten. De bovenste watervoerende laag op de site (met name boven de Kasterlee Klei) heeft een diepte van minstens 30 m. In horizontale richting moet elke besmettingspluim een afstand afleggen van bijna 1,5 km vooraleer een grondwateruitstroming in de Witte Nete/Kleine Nete gebeurt. Over deze afstand voltrekt zich een significante dilutie en dispersie van potentiële contaminanten, zodat de concentratie aan radionucliden aanzienlijk zal afnemen. Dicht bij de bergingsinstallatie – op een afstand van 50 m tot een paar honderden meter – vormen dilutie en dispersie dus de belangrijkste processen die bijdragen tot vermindering van de lange termijn radiologische impact van de bergingsinstallatie. Een belangrijke parameter om de langetermijnpact te kwantificeren is dus de geotransferfactor. Het periodiek actualiseren van de geotransferfactor, door middel van numerieke modellering, wordt aanbevolen. Dit wordt gerealiseerd door een model verder te valideren, en mogelijkerwijs te verbeteren. Dit gebeurt onder andere op basis van monitoringgegevens over de hydrogeologische aspecten van de site in de tijd (zoals stroomsnelheid en stroomrichting).

16.4.11.1 Monitoring van de stroomsnelheid

Aanvankelijk werd de stroomsnelheid bepaald op zes locaties rondom de oostelijke tumulus op basis van seizoenale dilutietests (drie meetpunten ten noorden van de tumulus, met name L-27a, L-28a en L-29a en drie ten zuiden van de tumulus, met name L-98a, L-99a en L-102a; L102a vervangt het trio L-49a/L-51a/L-53a die buiten werking werden gesteld omdat ze onbetrouwbare resultaten gaven; Figuur 16-2). Bijkomend werden er nog drie putten voor dilutietests geplaatst (L103a, L104a en L-105a - Figuur 16-2). De diameter van deze nieuwe putten is kleiner dan die van de overige peilbuizen, wat de resultaten van de dilutietests betrouwbaarder maakt voor eenzelfde meettijd. Ook werd er steeds met een beperkte diameter van het boorgat gewerkt, waarbij tijdens de installatie backfilling vermeden kon worden en waardoor de onzekerheid met betrekking tot de vervorming van het stromingspatroon door de peilput veel kleiner is dan voor de overige meetputten. Bovendien is de filter van de nieuwe buizen 15 m lang in plaats van 4 m lang, waardoor de resultaten dus meer representatief zijn voor de hele bovenste watervoerende laag.

Er worden nog seizoenale dilutietests gepland gedurende een periode van twee jaar, zodat er voor iedere put minstens 8 metingen beschikbaar zullen zijn.



Figuur 16-2 – Locatie van de verschillende putten die gebruikt worden voor het uitvoeren van de dilutietests rondom de oostelijke tumulus. Drie putten, aangeduid met grijze punten, zullen niet meer gebruikt worden omdat ze onbetrouwbare resultaten gaven. Deze putten zijn vervangen door L-102a

De reeds beschikbare gegevens laten toe om de relatie te bepalen tussen de stroomsnelheid, de hydraulische geleidbaarheid en de gradiënt (op basis van stijghoogtemetingen, [HS04] §4.6.2.7). De geplande dilutietests zullen de onzekerheid op deze relatie verder verkleinen. In de toekomst zullen geen dilutietests meer nodig zijn indien alle verzamelde data consistent blijken te zijn. De hydraulische geleidbaarheid is gekend (en onveranderlijk) evenals de gradiënt die uit de blijvende opvolging van de maandelijkse stijghoogtemetingen kan worden afgeleid. Aldus kan in ieder punt en op ieder tijdstip dat er stijghoogtemetingen worden verricht, een stroomsnelheid (i.e. de Darcy flux) worden bepaald.

Mogelijke effecten op de stroomsnelheid en –richting veroorzaakt door de bergingsinrichting zelf zijn een gevolg van een wijziging in de porositeit, en dus ook van de hydraulische geleidbaarheid als gevolg van zetting, en een verminderde infiltratie op de locatie van de inrichting met bijhorende wijziging van de lokale stijghoogte.

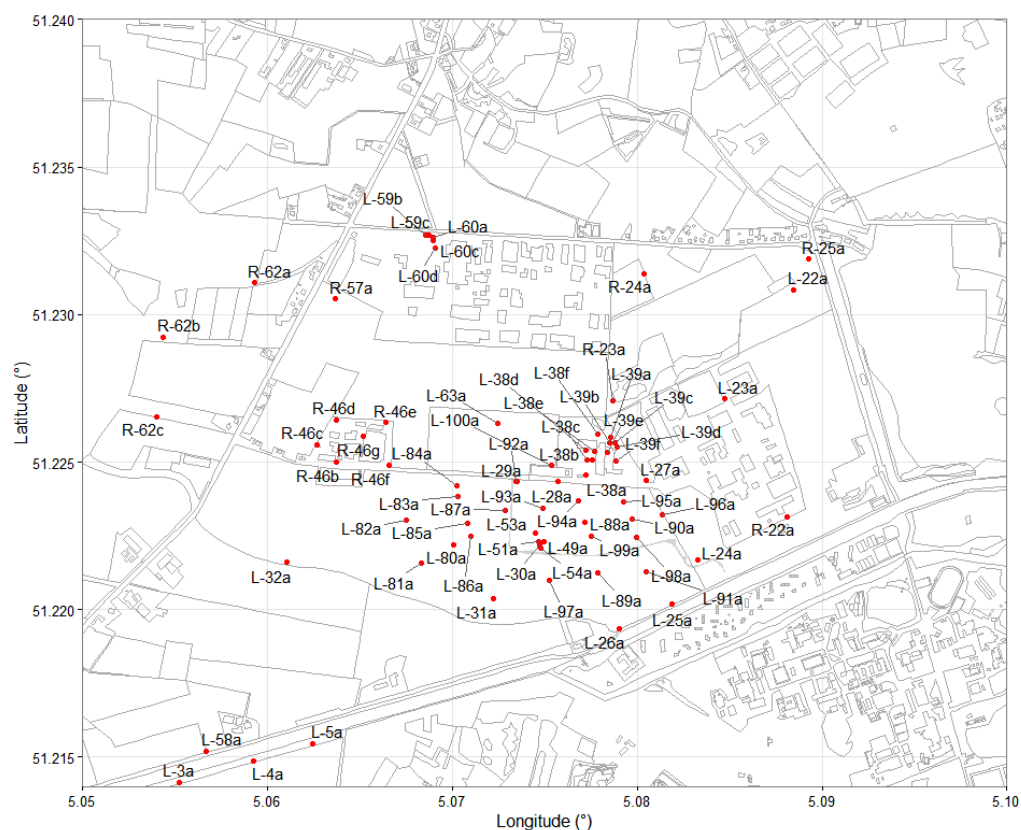
Berekeningen tonen aan dat door zetting onder het gewicht van de gevulde bergingsinstallatie de initiële porositeit met 3,2% zal dalen, van 0,435 naar 0,421 [R16-14] § 4.1 en §4.2. Hierdoor zal ook de hydraulische geleidbaarheid met ongeveer 10% verminderen in het Quartair (top 3,8m). Deze maximale verwachte verandering in hydraulische geleidbaarheid, bevindt zich volledig binnen de variabiliteit van de waarden van de hydraulische geleidbaarheid in sedimenten [R16-15].

Omdat hemelwater opgevangen wordt via het dak, en later door de afdekking en afgeleid zal worden naar een infiltratiebekken gelegen ten zuiden van de bergingsinrichting, zal het infiltratiepatroon onder en rond de bergingsinrichting verstoord worden. Blijvende opvolging van de stijghoogtes in de piëzometers op en rond de bergingsite zal deze verstoring in kaart brengen.

16.4.11.2 Monitoring van de stroomrichting

De stroomrichting, en bijhorend de gradiënt in de omgeving van de toekomstige bergingsinrichting wordt afgeleid uit de stijghoogtemetingen in de verschillende peilbuizen (Figuur 16-3). Naast de putten voor de dilutietests werden recentelijk (sinds 2015) een aantal kleine peilbuizen geplaatst met een handboor (tot

2,5 m diepte) met filter aan de onderkant van de dunne PVC-buis (diameters van 16, 25 of 30 mm) om het grondwaterpeil meer gedetailleerd in kaart te kunnen brengen. Metingen van het grondwaterpeil worden maandelijks verricht; tijdens de dilutietests worden de peilputten in de onmiddellijke nabijheid van de test, bijkomend opgemeten. Verder werd een relatie uitgewerkt tussen neerslag- en temperatuurstijdreeksen en de opgemeten stijghoogten. Aldus is het mogelijk om tussen de maandelijkse metingen te interpoleren in de tijd, en piëzometrische kaarten te genereren op dagdagelijkse basis. Op basis van deze kaarten kan een tijdreeks van stroomrichtingen voor eender welke locatie binnen het studiegebied afgeleid worden, zie [HS04] §4.6.2.7.



Figuur 16-3 – Overzicht van de peilputten uit het lokaal piëzometrisch netwerk die informatie geven over de positie van de watertafel in de onmiddellijke omgeving van de site.

Stijghoogtemetingen zullen op maandelijkse basis blijvend worden opgemeten tot het einde van de nucleaire reglementaire controlefase. Bijkomende piëzometers kunnen opgenomen worden in de modellering, met name deze in de buurt van de installatie (met dezelfde meetfrequentie). De nieuwe observatieputten kunnen eveneens gebruikt worden voor toezicht op de grondwaterstand, met uitzondering van de observatieputten die uitgerust zijn met meerdere filtergedeeltes. De bestaande piëzometers kunnen vermoedelijk allemaal blijven bestaan, als ze zich niet onder de toekomstige infrastructuur bevinden.

16.4.11.3 Monitoring van meteorologische parameters

Klimatologische parameters zullen gemonitord worden met behulp van een goed werkend, gekalibreerd en onderhouden meteorologisch station en dit in overeenstemming met goedgekeurde procedures. Goedkeuring van alle meetapparatuur door het Koninklijk Meteorologisch Instituut wordt aanbevolen.

16.4.11.4 Monitoring van het waterdebiet in de omliggende waterlopen

Het waterdebiet van de omliggende waterlopen zal continu worden gemonitord. Dit door een omzetting van het geregistreerde waterniveau naar lozingswaarden met behulp van geschikte waterniveau-lozing relaties. Deze metingen zijn belangrijk om de radiologische impact via het waterlopen netwerk in kaart te brengen ingeval radioactieve besmetting wordt waargenomen.

16.5 Beschrijving en justificatie van het fysiek toezicht en structurele monitoring

16.5.1 Monitoring van de monolieten

16.5.1.1 Getuigemonolieten

Objectief

Van de reële monolieten waarin de berging van radioactief afval zal plaatsvinden, wordt één geïnstrumenteerde monoliet en enkele niet-geïnstrumenteerde monolieten gemaakt op gelijke grootte zonder geconditioneerd afval. Men spreekt in dit geval over een getuigemonoliet.

De productiewijze (wijze van storting, bekisting en curing) en ook de mortel- en betonsamenstellingen van deze monolieten zullen gelijk zijn aan deze van de reële monolieten.

De getuigemonolieten worden tussen de modules geplaatst in een kleinere afgezonderde ruimte, de proefstukkamers (zie § 16.5.1.2). De condities en omstandigheden opgelegd aan de getuigemonolieten zijn bijgevolg representatief aan deze van de reële monolieten tijdens de exploitatiefase. Dankzij deze opstellingen kunnen verschillende beton- en mortelparameters opgevolgd worden onder andere door middel van ingecementeerde meetinstrumenten en destructieve proeven. Al deze metingen zullen informatie geven over de processen die zich afspelen in het beton en mortel, zowel op korte als op middellange termijn. Dankzij deze metingen, die gedurende ongeveer 100 jaar (tot aan de sluitingsfase) zullen uitgevoerd worden, kan de toestand van de verschillende getuigemonolieten aan de hand van verschillende parameters in de tijd opgevolgd worden, waardoor de verificatie van de kwaliteit van het eindproduct mogelijk wordt.

Bovendien kunnen ook verschillende modellen en enkele hypothesen die gemaakt werden in het kader van veiligheidsstudies geverifieerd worden.

Parameters, modellen en hypothesen

De parameters en uit te voeren inspecties van belang voor de opvolging van de toestand van de monolieten in de tijd zijn de volgende:

- visuele inspectie;
- microstructuur en aan- of afwezigheid van verschillende gehydrateerde fasen;
- grootte van de dimensionale vervormingen;
- controle op de aanwezigheid van scheuren in de betonhuid;
- controle van het contact tussen de mortel en de caissonwand;
- temperatuur;

- elektrische weerstand van de betondekking;
- corrosiepotentiaal van de wapening en de ankers;
- spanning (vervorming) in (van) de wapening;
- diepte van het carbonatatiefront;
- druksterkte-evolutie.

Bovendien kunnen aan de hand van de verschillende metingen onderstaande modellen en hypothesen geverifieerd worden. Deze modellen en hypothesen werden immers aangenomen en opgesteld aan de hand van laboproeven en –mengsels.

- verificatie van de afwezigheid van doorgaande scheuren;
- verificatie van de carbonatatiesnelheid;
- verificatie van de afwezigheid van secundaire ettringiet;
- verificatie van de afwezigheid van thaumasiet;
- verificatie van de berekende dimensionele veranderingen te wijten aan belasting en veroudering
- verificatie van een voldoende adhesie tussen de betonnen wanden van de caissons en de immobilisatie mortel;
- verificatie van de passivering van de wapening;
- verificatie van de passivering van het primaire collo;
- verificatie van de afwezigheid van actieve corrosie in de buurt van de interface beton / ankers die kan leiden tot scheurvorming.

Destructieve en niet-destructieve proeven

Sommige van bovenstaande parameters kunnen op niet-destructieve wijze bepaald worden, al dan niet volcontinu, andere dienen dan weer bepaald te worden met behulp van een destructieve proef. Dit kan eventueel gebeuren onder andere op representatieve proefstukken dewelke bewaard worden in identieke omstandigheden naast de getuigemonolieten. De volgende destructieve testen kunnen op gevormde proefstukken uitgevoerd worden:

- *Druksterkte-evolutie*: De druksterkte-evolutie van het beton en/of mortel kan opgevolgd worden door naast de getuigemonolieten representatieve proefstukken te plaatsen. Ook kan met behulp van een Schmidthamer de druksterkte niet-destructief geschat worden op het beton van de getuige monolieten. Indien mogelijk kan met behulp van impuls-echo (of een andere gelijkaardige techniek) de Young-modulus van het beton geschat worden. Deze is gerelateerd met de druksterkte;
- *Carbonatatiefront*: Ook de carbonatatie diepte kan met een zekere nauwkeurigheid opgevolgd worden aan de hand van proefstukken naast de monolieten. Doch, microscheuren kunnen een invloed hebben op de carbonatatie diepte en snelheid waardoor dat destructieve proeven op de monoliet noodzakelijk blijven. Ze kunnen evenwel beperkt worden omdat door middel van een kleine boring de diepte van het carbonatatiefront geschat kan worden door analyse van het boorstof;
- *Verificatie van de afwezigheid van actieve corrosie in de buurt van de interface beton / ankers*: Proefstukken met ingebedde CrMo₄ staal (hetzelfde materiaal als de hijsankers) kan worden gebruikt

ter verificatie van de afwezigheid van actieve corrosie en scheurvorming op het grensvlak beton / anker.

Aangezien niet alle destructieve proeven uitgevoerd kunnen worden op representatieve gevormde proefstukken blijft het noodzakelijk in de behoefte voor het uitvoeren van destructieve testen op monolieten te voorzien (i.e. niet-geïnstrumenteerde getuigemonolieten). Dit met het oog op de testen en controles van hypothesen waarvoor boorkernen nuttig of vereist zijn. Volgende destructieve testen kunnen op niet geïnstrumenteerde getuigemonolieten uitgevoerd worden:

- *Carbonatatiefront*: Éénmaal om de twee à vijf jaar kan de diepte van het carbonatatiefront geverifieerd worden aan de hand van een klassieke boring (i.e. analyse van boorstof). Indien een nauwkeurigere meting nodig lijkt zullen één of twee kernboringen ontnomen worden;
- *Verificatie van de afwezigheid van thaumasiet en secundaire ettringiet*: Éénmaal om de vijf à tien jaar kan de afwezigheid van beide fasen gecontroleerd worden aan de hand van een XRD, een SEM-scan op snijplaatjes of een andere techniek op een proefstuk ontnomen uit kernboringen;
- *Verificatie van de goede mortel/beton adhesie*: Indien dit noodzakelijk lijkt uit de niet-destructieve proeven kan dit geverifieerd worden door een enkele keer een boorkern te ontnemen en de aanhechting visueel te bestuderen, alsook de boring zelf. De eventuele vorming van een breuklijn tussen beide fasen kan mogelijk ook beproefd worden door het meten van de interne geluidssnelheid doorheen de monoliet. Tevens geeft dit eveneens een kwantitatief beeld van de evolutie van interne defecten (scheuren), indien aanwezig.

De overige proeven kunnen normalerwijze op niet-destructieve wijze onderzocht worden, al dan niet volcontinu op de geïnstrumenteerde getuigemonoliet.

Voorstel tot instrumentatie

In deze sectie wordt een voorstel tot instrumentatie van de geïnstrumenteerde getuigemonoliet toegelicht. De gebruikte type sensoren in de uiteindelijke getuigemonoliet kan echter afwijken van de types hieronder beschreven.

Onderstaande metingen kunnen uitgevoerd worden op volcontinu wijze:

- *Grootte van de dimensionele vervorming*: Door het op strategische plaatsen inbrengen van trilsnaren kan de grootte van de krimpvervorming gemonitord worden;
- *Temperatuur*: Het opmeten van de temperatuur in de omgeving, en in het beton en mortel van de monoliet kan eenvoudig uitgevoerd worden met behulp van meerdere Pt-100 elektroden die tijdens het storten op verschillende plaatsen ingebracht kunnen worden;
- *Elektrische weerstand van het beton*: Ook de elektrische weerstand van het beton kan gemonitord worden door het inbrengen van elektroden;
- *Spanning (vervorming) in (van) de wapening*: Met behulp van op de wapening bevestigde rekstrookjes (LVDT) kan de vervorming en resulterende spanning ten gevolgen van krimpeffecten gedurende de uitharding en belasting bepaald worden. Deze parameter is in directe relatie tot eventuele scheurvorming.

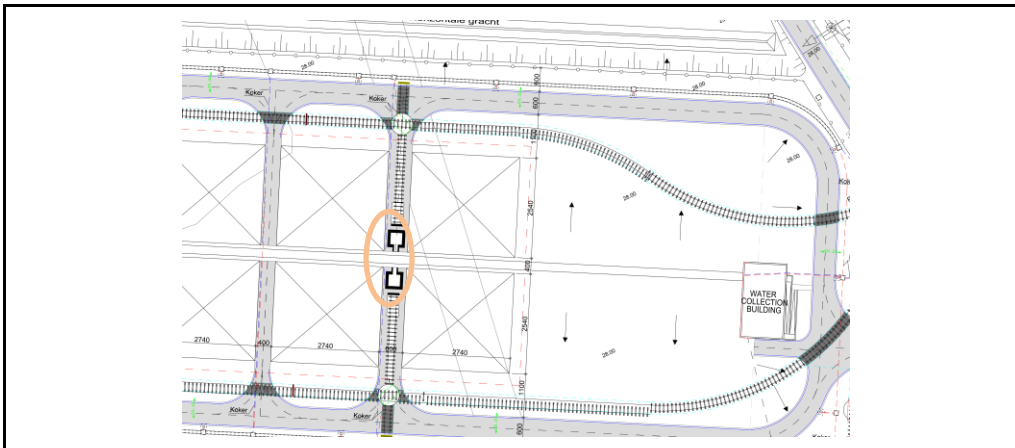
Onderstaande metingen kan enkel uitgevoerd worden op discontinue wijze:

- De bepaling van de *corrosiepotentiaal*: Dit kan op meerdere wijzen geschieden, doch is het aanbrengen van een connectie met de werkelektrode (de bewapening) steeds vereist. De corrosie staat van de betonwapening of het surrogaatvat kan hierdoor gemonitord worden.

16.5.1.2 Proefstukkamers

De proefstukken, getuigemonolieten en –wanden dienen zo lang als mogelijk toegankelijk te zijn en dit in dezelfde omgevingscondities als de echte monolieten. Aan deze voorwaarden kan worden voldaan tot aan de sluitingsfase indien de proefstukken en getuigemonolieten worden bewaard in hiertoe specifiek ontworpen ruimten, gelegen tussen de vier eerste modules (loszone monolieten), i.e. proefstukkamers (Figuur 16-4). De proefstukkamers worden geconstrueerd met hetzelfde beton en dekking als dat van een reële module. Op de wanden, representatief aan de wanden van een reële module, van de proefstukkamers worden eveneens destructieve en niet-destructieve proeven uitgevoerd. Deze ruimten zullen rechtstreeks toegankelijk zijn vanuit de centrale inspectiegalerij. Staalname en observatie kan dus geschieden over een periode van ongeveer 100 jaar.

Deze kamers zullen aan de bovenzijde, net zoals de modules, open gelaten worden tot de structurele sluiting van de laatste modules. De toegang tot de kamers wordt niet toegelaten tijdens het ontladen van de monolieten om zo stralingsdosisen zoveel als mogelijk te beperken.



Figuur 16-4 – Locatie van beide proefstukkamers

16.5.2 Toezicht op de inspectieruimtes

16.5.2.1 De inspectierobot

Onder iedere bergingsmodule is een inspectieruimte voorzien met een hoogte van 60 à 80 cm. Deze ruimte is manontoegankelijk door de beperkte grootte van de toegangsopeningen. Bijgevolg moeten de inspecties in de inspectieruimtes uitgevoerd worden door een inspectierobot. De inspectierobot kan in de ruimte ingebracht worden door de voorziene toegangsopeningen vanuit de centrale inspectiegalerij.

De inspectierobot zal uitgerust worden met een camera voor het uitvoeren van een visuele inspectie en met gereedschap voor het nemen van een wrijfmonster op de bodem van de inspectieruimte.

Er zal een visuele inspectie uitgevoerd worden van de volledige oppervlakte van de inspectieruimte, d.w.z. van:

- de verticale vlakken van de kolommen;
- de bovenzijde van de funderingsplaat;
- de binnenzijde van het gedeelte van de modulewanden dat zich in de inspectieruimte bevindt;
- de onderzijde van de prefab elementen (= plafond van de inspectieruimte);
- het gedeelte van het drainagesysteem dat zich in de inspectieruimte bevindt.

Indicatief worden volgende nauwkeurigheden vooropgesteld:

- Observatie van scheuren: scheuren met een opening van 300 µm moeten vastgesteld kunnen worden tijdens inspectie, voor gedetailleerde karakterisatie wordt een nauwkeurigheid van 100 µm vooropgesteld.
- Observaties van andere anomalieën (sporen van water, beschadigingen,...): nauwkeurigheid grootteorde 1 cm diameter.

Voor het uitvoeren van radioactieve besmettingsmetingen moet de vloerplaat voor het grootste deel gecontroleerd kunnen worden waarbij de staalname gebeurt door middel van een wrijfproef. Belangrijk is dat bij het ontwerp van het gehele inspectiesysteem de nodige maatregelen zullen getroffen worden om eventuele verspreiding van radioactieve besmetting afkomstig van de inspectieruimtes tegen te gaan. Voorbeelden hiervan zijn dat het binnenhalen van de inspectierobot zal gebeuren op een RVS plaat die gemakkelijk decontamineerbaar is en dat alle wielen van de robot gecontroleerd moeten worden op afwezigheid van radioactieve besmetting voordat de robot terug mag ingezet worden.

Met de inspectierobot zal er gecontroleerd worden of:

- er geen water of sporen van water aanwezig zijn (mogelijke afwijking t.o.v. DR5.a, DR5.b, DR5.c, DR5.d, DR5.e - voor een beschrijving van de DR, zie [HS02] § 2.7.7);
- Wanneer dit vastgesteld zou worden, zal een onderzoek uitgevoerd worden om de oorsprong van het water te achterhalen. Dit gebeurt d.m.v. de camera: opzoeken oorsprong van water, identificatie en karakterisering van eventuele scheuren die geleid hebben tot de waterinsijpeling of het vaststellen van condensatiefenomenen. Afhankelijk van de conclusies kan het noodzakelijk zijn ook andere SSC's te controleren, zoals bv. de dakstructuur of de afdekking;
- er – in het geval water gedetecteerd werd – sprake is van radioactieve besmetting (mogelijke afwijking t.o.v. DR3, DR4, DR5.a, DR5.b, DR7 - voor een beschrijving van de DR [HS-02] § 2.7.7 en § 2.12);
- Er zal eveneens een controle van radioactieve besmetting gebeuren door middel van het nemen van een wrijfmonster dat in het labo geanalyseerd wordt. Hiertoe is de robot uitgerust voor het nemen van 1 wrijfstaal dat vervolgens naar de inspectiegalerij gebracht wordt. Hierbij moet opgemerkt worden dat enkel monsternamen op de bovenzijde van de funderingsplaat is voorzien;
- het drainagesysteem binnen de inspectieruimte geen lekken/defecten vertoont. Dit gebeurt eveneens met de camera. (mogelijke afwijking t.o.v. DR16.b - voor een beschrijving van de DR [HS-02] § 2.7.7 en § 2.12). Indicaties van defecten zijn bv. zoutafzettingen en water of sporen van water ter hoogte van de drainagepunten (criterium: geen lekken);

- er geen andere onverwachte afwijkingen te zien zijn zoals bv. scheurvorming in beton. (mogelijke afwijking t.o.v. DR5.b, DR12.a, DR12.b, DR12.c, DR25.a, DR25.b - voor een beschrijving van de DR [HS-02] § 2.7.7 en § 2.12)

De controles zullen op periodieke basis uitgevoerd worden, waarbij de minimale inspectiefrequentie afhankelijk is van de fase waarin de specifieke module zich bevindt. Afhankelijk van de observaties kan de inspectiefrequentie ook bijgesteld worden (verhoogd of verlaagd):

- Tijdens fase Ia:
 - Voor modules in opvulling: 1 maal per jaar;
 - Voor modules grenzend aan modules in opvulling: 1 maal per 2 jaren;
 - Voor reeds opgevulde modules: 1 maal per 4 jaren;
- Tijdens fase Ib:
 - De observatiefrequentie van 1 maal per 4 jaren wordt aangehouden. In functie van de observaties kan deze desgevallend afnemen.

Daarnaast zullen bijkomende inspecties uitgevoerd worden bij een belangrijke wijziging wat betreft de belasting/configuratie van een module voor en/of na de wijziging. Het betreft:

- Voor start van opvulling van een specifieke module;
- Voor en na de structurele sluiting van een module;
- Voor en na het plaatsen van de afdekking boven een module;
- Voor de sluiting van een module.

De robot(s) wordt(en) gestald in het WCB, en kunnen verplaatst worden en ingebracht worden in de inspectieruimtes met behulp van een verrijdbare kar.

Voor de eerste ingebruikname van de inspectierobot kan deze uitgetest worden in de demonstratieproef waarbij één achtste van de inspectieruimte op ware schaal werd nagebouwd.

16.5.2.2 Correctieve maatregelen

Algemeen gesproken zullen niet-conforme materialen, onderdelen of componenten en corrigerende maatregelen behandeld worden zoals beschreven in [HS-08] § 8.6.9.

In het geval er water gedetecteerd wordt in de inspectieruimte, zal er verder gecontroleerd worden of er sprake is van radioactieve besmetting te wijten aan defecten van insluiting van de radionucliden in het afval en berging. Corrigerende maatregelen die kunnen genomen worden zijn het openmaken van de module(s) in kwestie en het terugnemen van het afval. Indien het - na evaluatie – nodig geacht wordt is het ook mogelijk in te grijpen in de inspectieruimte zelf door het verwijderen van de afsluiting van de inspectieruimte; de drainagepunten liggen vlak achter deze afsluiting en dus kan, na verwijdering van de afsluiting, het gedeelte van het drainagesysteem binnen de inspectieruimte hersteld worden.

16.5.2.3 Voor- en nadelen analyse met betrekking tot monitoring en zijn invloed op operationele- en langetermijnveiligheid

De inspectieruimte biedt volgende voordelen:

- Controle van de integriteit en werking van de vloerplaten en kolommen: visueel (via inspectierobot), vaststellen van anomalieën (bijvoorbeeld vochtplekken). Deze controle laat een evaluatie toe van de werking van alle bovenliggende componenten;
- De inspectieruimte laat toe de goede werking van het drainagesysteem te controleren: is er een bypass of niet?
- Conformiteit met de regeringsbeslissing uit 2006 en het voorontwerp van STOLA-Dessel [HS-02] § 2.3.4;
- Monitoring tussen de engineered barriers maakt alerte vaststelling mogelijk. Deze alerte observaties laten toe tijdig de situatie te evalueren en remediërende maatregelen te nemen indien nodig;
- De inspecties in deze ruimte dragen bij tot het onderbouwen van het vertrouwen en van toekomstige beslissingen.
- Potentiële nadelen en optimalisering
- Problemen in verband met stabiliteit en gevolgen van eventuele niet-opvulling;
- De geometrie van de inspectieruimte is zodanig dat de gevolgen van een eventuele niet-opvulling in de toekomst beperkt zijn: beperkte hoogte in verhouding tot zijn dikte en een kolom onder elke stapel monolieten;
- Intrusie;
- De hoogte van de inspectieruimte is beperkt;
- De inspectieruimte is manontogankelijk: de toegangsopening is sterk beperkt in grootte. De grootte is afgestemd op het toelaten van een inspectierobot.

De voordelen worden genoten tijdens de exploitatiefase terwijl de meeste van de potentiële nadelen zich na de sluiting voordoen. NIRAS is van oordeel dat, zeker gezien de uitgevoerde optimalisering, waarbij de hoogte gereduceerd werd en het aantal kolommen verhoogd werd, de voordelen groter zijn dan de potentiële nadelen.

16.5.3 Monitoring en toezicht van de modules

16.5.3.1 Inleiding

Het doel van de monitoring en het toezicht op de modules is een beeld te krijgen van de evolutie van de gemeten parameters zonder hier evenwel actieniveaus aan te koppelen. Dit laat toe om eventuele condensatie te verklaren en het vervormingsgedrag van beton op lange termijn op te volgen (kruip, effect van temperatuur/vochtigheid, toenemende belasting door het vullen/sluiten van de module, ...).

Bij de installatie van instrumentatie in de modules moet er steeds op toegezien worden dat de langetermijnveiligheid van de installatie nooit in het gedrang gebracht wordt. De monitoring die plaatsvindt in de SSC's dient dan ook herleid te worden tot een minimum. Bekabeling volledig doorheen de modulewanden zal hierdoor uitgesloten worden. Op basis van de bekomen resultaten en getrokken

lessen uit de demonstratieproef zullen de meest relevante en noodzakelijke parameters geïdentificeerd kunnen worden welke zich voornamelijk zullen richten tot de meest kritische aspecten in de SSC's. Daarentegen vormen relevante parameters in de directe nabijheid van de modules, zoals bijvoorbeeld temperatuur en luchtvochtigheid, uiteraard geen probleem.

Verder worden er ook verschillende beton- en mortelparameters die informatie geven over de processen die zich afspelen in het beton en mortel, zowel op korte als op middellange termijn, opgevolgd op de proefstukken die zich bevinden in de proefstukkamers en op de wanden van de proefstukkamers (zie § 16.5.1)

Temperatuursensoren zullen echter wel in de modulewanden aangebracht worden. Deze sensoren geven immers informatie omtrent de gewogen rijpheid van het beton, dewelke cruciaal is om het juiste moment van ontkisting te identificeren. De plaats en aantal temperatuursensoren dient nog vastgelegd te worden.

16.5.3.2 Module instrumentatie

De volgende parameters zullen opgevolgd worden:

- Betontemperatuur (maturometrie), bevestiging afwezigheid DEF (zie [HS-05] § 5.3.2.2.2) - draadloos;
- Omgevingstemperatuur op verschillende locaties (continue opvolging);
- onder de stalen dakconstructie;
- in de transversale gangen;
- in de inspectiegalerij;
- in de proefstukkamers;
- in de inspectieruimten;
- aan de binnenwand van de modules;
- buiten de module (meteostation);
- Relatieve vochtigheid op verschillende locaties (continue opvolging);
- in de inspectieruimten;
- in een module;
- in de inspectiegalerij;
- in de transversale gangen;
- in de proefstukkamers;
- Vervorming van staalstructuren:
- Externe rekstrookjes (vervormingsmetingen) op bepaalde elementen van de staalstructuren (loopbaan van de rolbrug, enkele stalen balken);
- Vervorming van de betoncomponenten:
- Interne en/of externe rekstrookjes in de betonnen SSC's (continue opvolging);

16.5.3.3 Visueel toezicht

Een periodieke visuele inspectie van de modulewanden zal uitgevoerd worden waarbij de nadruk gelegd zal worden op eventuele scheurvorming. De scheuren worden gekarakteriseerd (i.e. breedte, lengte en indien mogelijk diepte), alsook hun evolutie met de tijd.

16.5.4 Monitoring van de globale zettingen en verplaatsingen van de modules

16.5.4.1 Inleiding

De evaluatie met betrekking tot zettingen en verplaatsingen is essentieel voor bepaalde operationele aspecten van de bergingsinstallatie. De zettingsproef en geavanceerde 3D-berekeningen van de bergingsstructuur leveren een accuraat beeld van de te verwachten zettingen en verplaatsingen waaraan de bergingsstructuur onderhevig zal zijn gedurende alle exploitatiefasen en op lange termijn.

Het monitoren van zettingen en hellingen die hiermee gepaard gaan zijn van belang om volgende redenen:

- De rolbrugfunctionaliteiten binnen een set van vier modules in opvulling;
- Ter identificatie van het hoogteverschil tussen twee verschillende sets van vier modules op het moment dat de rolbrug van de ene set naar de andere verplaatst dient te worden;
- De maximale zetting van de tumulus mag niet groter zijn dan de dikte van de onderliggende capillaire barrière. Indien wel, zal het zand-cement mengsel in aanraking komen met de watertafel wat vermeden dient te worden;
- Tevens dient geverifieerd en vermeden te worden dat er zich geen negatieve afwatering (weg van het WCB) in het drainagesysteem kan voordoen;
- Controle van de conformiteit met ontwerp van de glijdende elementen en scharnieren die voorzien zijn tussen alle onafhankelijke metalen structuren.

16.5.4.2 Meetsystemen

Zettingen

Zettingen worden continu gemonitord door middel van automatische totalstationsystemen. Voor de meting van de zettingen van de modules bestaan deze onder andere uit theodolieten (drie, één aan beide weerszijden van de bergingsinstallatie ten noorden en ten zuiden en één ten oosten van de modules) welke op een zekere afstand van de modules geplaatst worden zodanig dat ze gepositioneerd staan buiten de invloedssfeer van de mogelijke zettingen.

Prisma's worden bevestigd aan de kolommen van de stalen structuur via een kleine opening in de wandbekleding of rechtstreeks op de wandbekleding en ze dienen steeds in het gezichtsveld te staan van de theodoliet. Per module zullen vier prisma's geïnstalleerd worden (op de kolommen aan de uiteindes van iedere module, en dit op twee verschillende niveaus). Door middel van de theodolieten zal de positie van de prisma's, en bijgevolg de verplaatsingen die de modules ondergaan hebben ten opzichte van de initiële en voorgaande toestand, nauwkeurig bepaald kunnen worden.

Bovendien kunnen correcties op de positionering van deze theodolieten gemaakt worden door gebruik te maken van referentiepunten die op grotere afstand gepositioneerd staan.

De verwachte levensduur van de total stations is ongeveer vijf jaar. Na het opvullen van de eerste reeks van vier modules moeten ze vervangen worden. Op basis van de ervaring op dat moment kan besloten worden de automatische metingen met de total stations te vervangen door periodieke metingen met klassieke theodolieten.

In de galerij kunnen de zettingen ook gemeten worden met behulp van theodolieten. Het referentiepunt van deze meting zal zich bevinden in de Water Collection Building. De set van theodolieten die zich in de inspectiegalerij bevindt zal informatie kunnen geven tot aan het begin van de sluitingsfase (fase II).

Kantelingen

De hellingen en kanteling van modules kunnen continu opgemeten worden met behulp van:

- de installatie van prisma's, op zowel horizontaal als verticale stalen structurelementen (metingen m.b.v. een theodoliet);
- de installatie van tiltsensoren gevestigd in een compacte en waterdichte behuizing.

Lokale verplaatsingen

Overheen de voegen in de galerij en / of de balken van de stalen constructie, kunnen lokaal glasvezel detectoren geïnstalleerd worden voor de continudetectie van verticale of zijwaartse verplaatsingen.

16.5.5 Toezicht op de afdekking

16.5.5.1 Topografische metingen

Meetprincipes

De opvolging van zettingen en verplaatsingen zal voornamelijk gebeuren met behulp van klassieke topografische meetmethoden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van referentiepunten en deze kunnen gepositioneerd worden:

- op het bovenoppervlak van de tumulus, alsook op de helling van de tumulus;
- ter hoogte van de tumulusbasis, i.e. maaiveld.

In aanvulling op de verticale verplaatsingen, kunnen er eveneens horizontale verplaatsingen plaatsvinden in de hellingen van de tumulus. Prisma's kunnen geïnstalleerd worden op zowel het bovenoppervlak als de hellingen van de tumulus om zo de verplaatsingen langs de drie assen (x, y en z) met behulp van een theodoliet in kaart te brengen.

Na de finalisatie van de afdekking wordt initieel een maandelijks meetcampagne aangeraden maar de meetfrequentie zal o.a. gebaseerd worden op basis van de meetresultaten en zal dalen met de tijd.

Optioneel kunnen satelliet-metingen gebruikt worden om verplaatsingen in kaart te brengen.

Interpretatie van de meetresultaten

De meetresultaten worden verwerkt om zo de evolutie van de waargenomen verplaatsingen met de tijd in kaart te brengen. De interpretatie van de gegevens hebben onder andere als doel de opvolging van de onderstaande parameters:

- De 'amplitude' van de zettingen, welke vergeleken worden met de berekende zettingen en voorgaande metingen: een totale verplaatsing groter dan de berekende zettingen, kan wijzen op een anomalie in het gedrag van onderliggende structuren;

- De ‘snelheid’ van het plaatsvinden van de zettingen, waarbij een plotse toename – niet te wijten aan een gekende externe oorsprong – kan wijzen op een anomalie in het gedrag van de onderliggende structuren.

Bij een overschrijding van de toegestane zettingen of bij een overschrijding in het vooruitzicht, wordt er een onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van de anomalie en de eventuele uit te voeren correctieve maatregelen.

Op basis van de hierboven beschreven parameters kunnen er actieniveaus worden vastgelegd om zo afwijkend gedrag tijdig te kunnen detecteren, namelijk:

- de totale verplaatsing die mag plaatsvinden;
- de verplaatsingssnelheid waargenomen tussen twee opeenvolgende metingen.

16.5.5.2 Fysiek toezicht

Tevens zal een visuele inspectie van de afdekking gebeuren teneinde anomalieën met betrekking tot fysische en biologische processen te kunnen vaststellen. Hiertoe behoren ook de controles op de afwateringskanalen aan de voet van de afdekking. Bij vaststellingen van beschadigingen zal de afdekking hersteld worden.

Fysische processen

- Bodemerosie: Controles hebben betrekking op de aanwezigheid van geultjes welke gradueel greppels kunnen worden.
- Afschuivingen: Controles met betrekking tot de mogelijke aanwezigheid van instabiliteiten (lenzen) op de helling die plaatselijk kunnen optreden als gevolg van de infiltratie van het water door de geulen hetgeen preferentiële paden vormt.

Biologische processen

- Perturbatie door flora: Controle op de groei van vegetatie en de mogelijke aanwezigheid van soorten met diepe wortels;
- Perturbatie door fauna: Controle van de mogelijke aanwezigheid van holen gegraven door dieren (bijvoorbeeld konijnen, vossen, ...).

Afwateringsloten

De afwateringsloten die zich aan de voet van de zijflanken van de afdekking bevinden en het water draineren naar de infiltratiebekkens, dienen periodiek visueel geïnspecteerd te worden op de mogelijke aanwezigheid van obstakels [HS-08] § 8.5.9.4.

16.5.6 Controle van de waterniveaus in de WCB

Dit wordt behandeld in § 16.6 - Beschrijving en justificatie van de monitoring van het drainagewater.

16.5.7 Andere monitoringsaspecten

16.5.7.1 Weerstation

Een weerstation zal geïnstalleerd worden in de nabijheid van de modules opdat de atmosferische parameters op continu basis kunnen afgetoetst worden (i) met de operationele vereisten (i.e. de maximale

waarden waarvoor de verschillende SSC's van de bergingsinstallatie ontworpen zijn mogen niet overschreden worden) en (ii) opdat men precieze inputs voor de diverse modelleringen van o.a. de afdekking zou verkrijgen.

De volgende parameters zullen op continu basis gemeten worden:

- aantal uur zonlicht en intensiteit;
- relatieve vochtigheid;
- temperatuur;
- neerslagintensiteit;
- windsnelheid en –richting.

Wanneer de windsnelheid hoger is dan waarvoor de bergingsinstallatie ontworpen werd (i.e. operationele vereiste), zal het vullen van de modules gestaakt worden. De monoliet zal op dat moment tijdelijk op een veilige positie geplaatst worden in de ontladzone monolieten. Tevens zal een informatielink gemaakt worden met andere weerstations in de buurt teneinde de windintensiteit in de nabije omgeving te kunnen voorspellen.

16.5.7.2 Sneeuwdikte

De dikte van de sneeuwlaag op de grond wordt gemeten. Uit deze dikte kan de belasting afgeleid worden op basis van de ouderdom van de sneeuw. Er wordt aangenomen dat de dikte van de sneeuwlaag op het dak van de modules equivalent is aan deze op grondniveau. Door de vorm van het dak is de sneeuwbelasting waarmee gerekend moet worden 80% van de belasting op de grond. Het actieniveau van de sneeuwbelasting op grondniveau bedraagt 0,50 kN/m². De stalen dakstructuur is ontworpen voor een sneeuwbelasting met een terugkeerperiode van 100 jaar, dewelke 0,50 kN/m² bedraagt ter hoogte van het dak, wat overeenkomt met 0,575 kN/m² op grondniveau ([HS-08] § 8.3.2.1).

16.5.7.3 Accelerometers

Het seismologisch risico wordt in rekening gebracht door de verschillende SSC's van de bergingsinstallatie zodanig te ontwerpen dat ze een referentie-aardbeving kunnen weerstaan.

De continue opvolging van de in-situ seismologische gegevens hebben als doel:

- Het vergelijken van de verworven data met de niveaus waarvoor de installatie ontworpen werd en omvat twee deelaspecten;
- De aardbeving zelf (i.e. grootte, spectrum, ...);
- De respons van de structuur (i.e. correcte eigenfrequenties gebruikt, demping, ...);
- het aanzetten tot een inspectiecampagne in geval van overschrijding.

De locaties waar met voorkeur accelerometers geplaatst kunnen worden zijn:

- Op de staalconstructie zelf, ~ ter hoogte van de rolbrug;
- In het administratief gebouw en eventueel in de WCB en/of binnen de proefstukkamers, de twee laatste structuren dienen toegankelijk te zijn tot aan de sluitingsfase, en zich dichtbij de modules bevinden opdat de representativiteit kan gegarandeerd worden.

16.5.7.4 Controle van het dak

Periodieke inspecties (i.e. op jaarlijkse basis) van het dak is een gangbare praktijk om de effectiviteit van de laterale afwatering te controleren en verstoppingen te vermijden van de verticale waterafvoerleidingen.

16.5.7.5 Waterniveaus

Controles waarbij op periodieke basis (i.e. trimestrieel) of tijdens/na hevige regenbuien het waterniveau in het stormbekken en op sommige punten in de afwateringskanalen wordt geverifieerd.

16.5.8 Alarmniveaus

Dit zal verder uitgewerkt worden in operationele procedures.

16.5.9 Referentietoestanden

Tabel 16-19: Referentietoestanden met betrekking tot fysiek toezicht en structurele monitoring

Parameter	Tijdsduur // Frequentie	Locatie(s)	Waarde(s)	Voorlopige referentie-waarde	Ref.
Druksterkte	Momentopname	Proefstukken	Te bepalen	Beton en mortel: Druksterkte conform aan de sterkteklasse C40/50	[HS-07] § 7.4 (monoliet)
	Tijdens de constructiefase				[HS-08] § 8.5.1 (module)
Porositeit	Momentopname	Proefstukken	Te bepalen	Beton 9% - 12% Mortel 7% - 12%	[HS-05] § 5.3.1.2.6 en § 5.4.1.2.2
	Tijdens constructie				
Vochtgehalte	Momentopname	Proefstukken	Te bepalen	~80%	[HS-05] § 5.3.1.3
	Tijdens constructie				
Zettingen	Momentopname	Prisma's op stalen dak	Te bepalen	-	[OD-177] § 2.8
	Onmiddellijk na constructie				
Corrosiepotentiaal	Momentopname Onmiddellijk na constructie	Proefstukken en getuigemonolieten	Te bepalen	-	-
Vervorming van betoncomponenten	Continue meting Onmiddellijk na constructie	Getuigestructuur, module	Te bepalen	-	-
Relatieve vochtigheid	Continue meting Onmiddellijk na constructie	Getuigestructuur, inspectieruimte, module, inspectiegalerij	Te bepalen	-	-
Temperatuur	Continue meting Onmiddellijk na constructie	Getuigestructuur, onder stalen dakstructuur, inspectiegalerij, inspectieruimte, module	Te bepalen	-	-
Carbonatatie	Momentopname Onmiddellijk na constructie	Proefstukken, getuigestructuur en getuigemonolieten	Te bepalen	Diepte carbonatatiefront: 0 cm	-

Hoofdstuk 16: Monitoring

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

Seismologische gegevens (versnelling ter hoogte van de structuur)	Continue meting Onmiddellijk na constructie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Op de staalconstructie zelf ~ ter hoogte van de rolbrug. 	Te bepalen	-	-
		<ul style="list-style-type: none"> ■ In het administratief gebouw en eventueel in de WCB en/of binnen de proefstukkamers, 			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ Omgeving bergingssite 			
Afwezigheid van thaumasiet en secundair ettringiet	Momentopname Onmiddellijk na constructie	Getuigestructuren	Te bepalen	-	-
Vervorming, afschuiving, perturbatie door fauna en flora	Momentopname Onmiddellijk na constructie	afdekking	Te bepalen	-	-

16.6 Beschrijving en justificatie van de monitoring van het drainagewater

16.6.1 Rollen van het drainagesysteem

Het drainagesysteem moet toelaten om de volgende functies te vervullen:

- Detecteren en opvangen van water of sporen van water afkomstig uit de modules;
- Tijdens de exploitatiefase Ia:
 - Verificatie dat het vast dak voldoende weerstand biedt tegen allerlei weersomstandigheden ter voorkoming van lekkage in de onderliggende ruimte;
 - Verificatie van de condensatie die eventueel optreedt binnenin de modules;
 - Water evacueren indien er een defect optreedt aan het vast dak.
- Tijdens de exploitatiefase Ib:
 - Verificatie van de performantie van de bergingsinstallatie betreffende de waterinfiltratie (R2a7 - [HS-02] § 2.7.4). Hierbij wordt de doeltreffendheid nagegaan van de combinatie ‘Afdekking & betonnen componenten’;
 - Detecteren van de graad van besmetting van het opgevangen water te wijten aan defecten van insluiting van de radionucliden in het afval en de berging;
 - In dat geval zou er zeer veel moeten misgegaan: combinatie van defect aan de degradatie van de aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, moduledak en monoliet.

16.6.2 Beschrijving van het drainagesysteem

Een algemene beschrijving van het drainagesysteem is terug te vinden in HS08, §8.5.5.4.

16.6.3 Voor- en nadelen analyse met betrekking tot monitoring en zijn invloed op operationele- en langetermijnveiligheid

- Het drainagesysteem biedt volgende voordelen:
 - Het voorziet in een early warning systeem op een locatie in de engineered barriers. Het zorgt met andere woorden voor een alerte detectie van mogelijke problemen vooraleer deze zich tot in de biosfeer zouden verspreiden. Deze alerte meting laat toe tijdig de situatie te evalueren en remediërende maatregelen te nemen indien nodig;
 - Het systeem laat toe de vooropgestelde werking van het bergingssysteem te controleren. De hoeveelheid water die doordringt kan opgevolgd worden, evenals de samenstelling ervan;
 - Tijdens de operationele periode vermijdt het systeem wateraccumulatie in de modules in het geval er een defect is aan het dak of afdekking;

⁷ R2a: Het beperken van waterinsijpeling tot bij het afval

- Het systeem laat toe voldoende vertrouwen en verdere kennis op te bouwen in de werking van het systeem en maakt zo het nemen van gefundeerde beslissingen over de transitie naar volgende fases mogelijk.
- Een deel van het drainagesysteem vormt later een deel van het ABS.
- Potentiële nadelen en optimalisering
- Potentiële contaminatie van de inspectieruimte en –galerij bij slechte werking;
- Tijdens de exploitatiefasen is het systeem in gebruik en zal regelmatige inspectie de goede werking controleren;
- Het water dat opgevangen wordt, zit steeds in een afgesloten systeem;

De voordelen worden genoten tijdens de exploitatiefase terwijl de meeste van de potentiële nadelen zich na de sluiting voordoen en bovendien uiterst beperkt zijn. NIRAS is van oordeel dat, zeker gezien de uitgevoerde optimalisering, de voordelen groter zijn dan de potentiële nadelen.

16.6.4 Controle van drainagewater

Drie verschillende controles worden uitgevoerd op het drainagewater afkomstig van de bergingsmodules (Figuur 16-5)

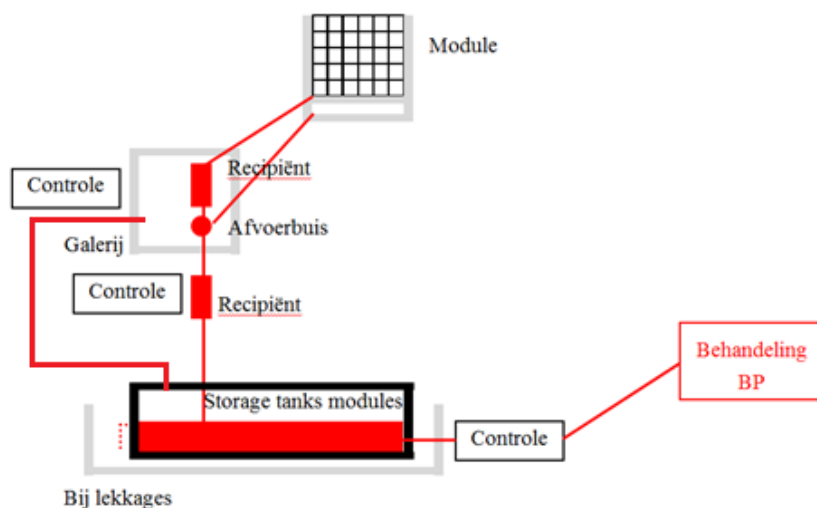
Het *eerste type* van controle gebeurt op niveau van iedere bergingsmodule afzonderlijk. Drie recipiënten worden voorzien per bergingsmodule en worden geïnstalleerd in de inspectiegalerij ter hoogte van de verbindingstunnels tot de inspectieruimte. Elk recipiënt staat in verbinding met een deel van de ondersteunende plaat zodat steeds een inschatting kan gemaakt worden van welke zone in de module het water afkomstig kan zijn. Bij een accidentele situatie wordt het teveel aan water afgevoerd via een overloop naar de centrale afvoerbuï.

Het *tweede type* van controle gebeurt op twee recipiënten in de nabijheid van de WCB waarbij elk recipiënt ingepast wordt in één van de twee centrale afvoerbuïzen. Bij normale werking verzamelen deze recipiënten enkel water afkomstig van de funderingsplaten daar het water afkomstig van de ondersteunende plaat reeds opgevangen wordt door de module specifieke recipiënten (i.e. eerste type van controle). Bij detectie van water in een recipiënt kan bij de zoektocht naar de bron in eerste instantie enkel onderscheid gemaakt worden tussen de linker of rechter modulerij, een robotinspectie moet achteraf uitsluitel brengen over welke specifieke module het precies gaat. Beide recipiënten beschikken over een alarmeringssysteem welke automatisch een alarm genereren bij overschrijding van een bepaald waterniveau.

Het *derde type* van controle wordt uitgevoerd in het WCB bij het wegpompen van het water uit de opvangtanks. Op deze manier wordt ook het water dat afkomstig is van de inspectiegalerij gecontroleerd (zie ook Figuur 16-5). Het waterpeil wordt in deze tanks automatisch gemonitord.

Op trimestriële basis worden alle recipiënten gecontroleerd op de afwezigheid van water. Mocht er toch water worden vastgesteld in een recipiënt dan wordt eerst het *volume* genoteerd. Nadien wordt een hoeveelheid water opgevangen in een extern recipiënt ter karakterisatie. Hetgeen nog rest in het recipiënt mag afgevoerd worden naar de opvangtank modules. Ieder recipiënt wordt afzonderlijk behandeld. Het genomen waterstaal wordt in een externe omgeving (e.g. laboratorium) gecontroleerd op de potentiële aanwezigheid van *radionucliden* en *voorlopers van radiologische contaminatie*. Belangrijk is dat deze

externe recipiënten steeds zuiver zijn, dit om crosscontaminatie te vermijden. Het opgevangen water wordt steeds behandeld als gecontamineerd afval, ook al wordt tijdens de analyse van het water geen radiologische contaminatie waargenomen. De uiteindelijke afvoer van het water kan gebeuren naar het nabijgelegen verwerkingsbedrijf van radioactief afval, i.e. Belgoprocess. Bovenstaande controles dienen ook tussentijds te gebeuren na een alarmmelding.



Figuur 16-5 – Schematisch overzicht van het drainagesysteem

16.6.5 Te monitoren parameters

De te monitoren parameters voor de verschillende afwateringssystemen staan opgelijst in Tabel 16-20. Volgens de huidige inschatting worden er zeer lage hoeveelheden aan drainagewater verwacht in de recipiënten waardoor het niet steeds mogelijk zal zijn om alle parameters te monitoren. Daarom worden de te monitoren parameters in Tabel 16-20 gerangschikt in dalende orde van belangrijkheid.

De parameters pH, EC en volume wordt standaard gemeten op ieder waterstaal. Bij het uitvoeren van deze analyses zal er nagenoeg geen waterverlies zijn en het water dus kan gerecupereerd worden voor verdere analyse. Belangrijk om op te merken is dat hierbij de nodige maatregelen moeten genomen worden om cross-contaminatie te vermijden.

Tabel 16-20 – Overzicht van te monitoren parameters in het drainagewater afkomstig van de modules. De te monitoren parameters in het drainagewater van de inspectiegalerij beperken zich tot de parameters aangeduid met een (*), tenzij abnormaal hoge waarden waargenomen worden.

Parameter(s)	Beschrijving
Gamma-spectroscopie (bevat o.a. ^{40}K , ^{137}Cs , ^{241}Am)*	Standaard uit te voeren op alle waterstalen, water kan gerecupereerd worden.
^3H *	Vanwege het diffusief karakter van ^3H kan deze vrij gemakkelijk migreren doorheen de monolieten. ^3H wordt dus beschouwd als een voorloper van radiologische contaminatie
alfa totaal* beta totaal*	Aanbevolen parameters bij het karakteriseren van het drainagewater. Wanneer belangrijke schommelingen worden waargenomen in de resultaten van de metingen zal dit leiden tot een verder gedetailleerd onderzoek (i.e. alfa en/of beta spectroscopisch onderzoek) . Om deze reden is het aangeraden limieten vast te leggen voor zowel alfa totaal als beta totaal.
B, Cl	Boor en chloride worden beschouwd als voorloper van radiologische contaminatie. Beiden vertonen weinig sorptie op beton; ze zijn aanwezig in zeer hoge concentraties in verdamperconcentraten.
^{14}C , ^{36}Cl , ^{99}Tc , ^{129}I	Radionucliden die matig geabsorbeerd worden door cementgebonden materialen (met uitzondering van ^{14}C)
Beta-spectroscopie	Enkel uit te voeren bij een overschrijding van beta-totaal
Alfa-spectroscopie	Enkel uit te voeren bij een overschrijding van alfa-totaal

16.6.6 Justificatie duur van operationeel houden drainagesysteem

Het drainagesysteem wordt uit bedrijf genomen in de sluitingsfase wanneer het grootste gedeelte ervan verwijderd wordt en het overige deel, deel zal uitmaken van het ABS (zie [HS-10] § 10.2 en § 10.3).

Bij het nemen van de beslissing om over te gaan tot sluiting moeten twee aspecten afgewogen worden:

- Enerzijds is het aangewezen de berging zo snel mogelijk te sluiten om het risico op menselijke intrusie te beperken en het systeem in een volledig passieve toestand van veiligheid te brengen;
- Anderzijds is het beter de sluiting later uit te voeren en dus ook het drainagesysteem langer operationeel te laten om door observaties toe te laten het vertrouwen in de toekomstige performantie van het systeem te vergroten en te bevestigen.

Na de plaatsing van de afdekking (fase Ib), zal de balans tussen bovenstaande twee aspecten periodiek afgewogen moeten worden. Alvorens effectief het drainagesysteem buiten bedrijf te stellen, moeten alle belanghebbende partijen geraadpleegd worden, zoals gedefinieerd in de wetgeving die op dat moment zal gelden. Tot die tijd zal het drainagesysteem en de inspectieruimte onder iedere bergingsmodule op periodieke basis geïnspecteerd worden, waarbij er gecontroleerd zal worden of er geen water of sporen van water of andere anomalieën aanwezig zijn. Momenteel wordt een duur van ongeveer 45 jaar vooropgesteld voor fase Ib. Deze periode laat toe eventuele afwijkingen bij de constructie te detecteren en remediëren.

16.6.7 Referentietoestanden

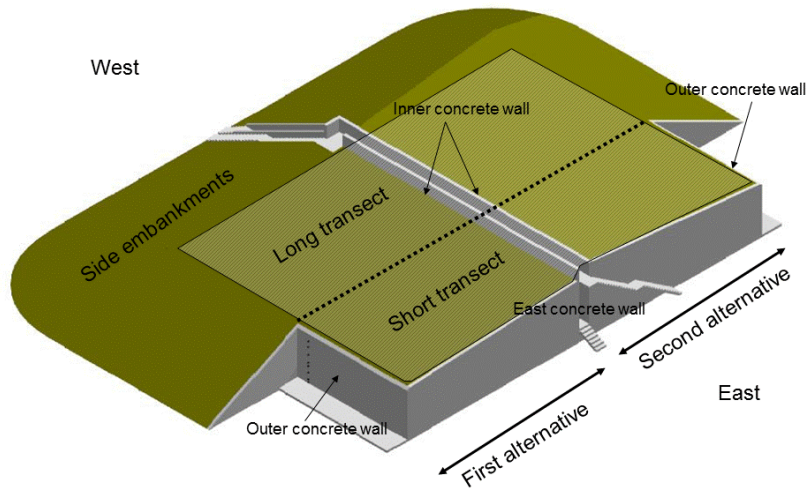
De referentietoestand voor de monitoring van het drainagewater zal beschreven worden na de constructie van de bergingsinstallatie en vóór de exploitatie. Dit wordt gedocumenteerd in het as-built dossier en veiligheidsrapport.

16.7 Beschrijving en justificatie van de monitoring van de proefafdekking

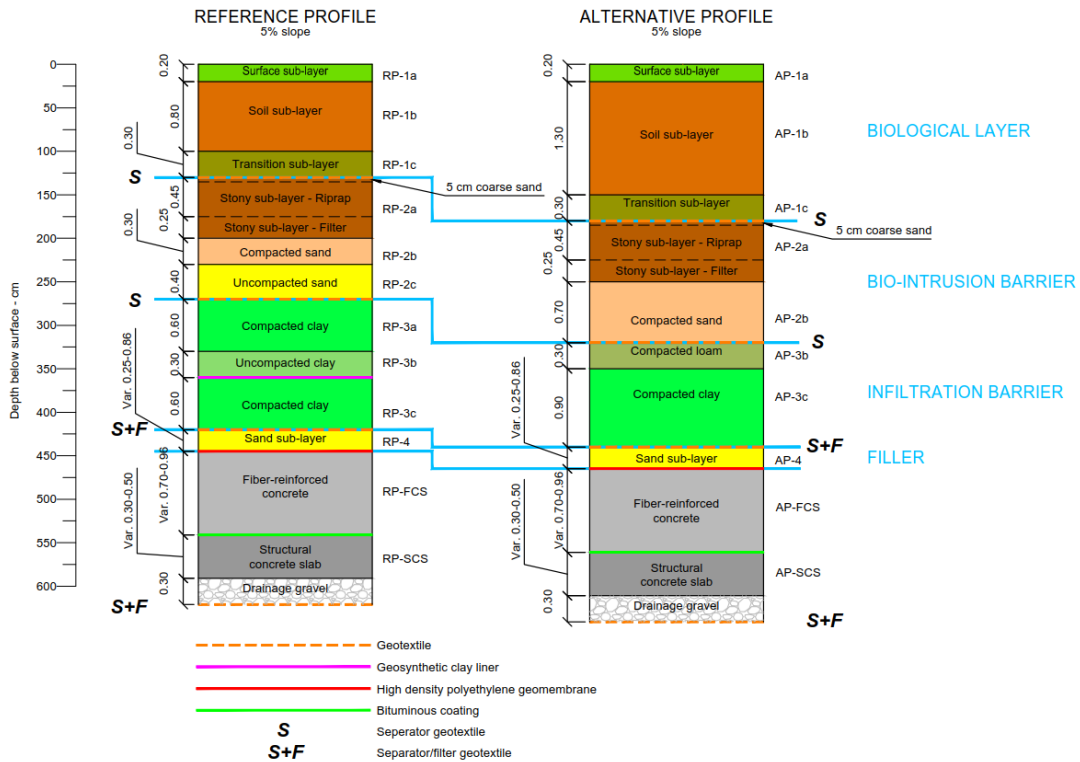
16.7.1 Inleiding en rol van de proefafdekking

De beperking van de waterinfiltratie door de aarden afdekking zal worden geëvalueerd in de proefafdekking. Daarnaast zullen ook de (eventuele) degradatieprocessen worden gevolgd om gegevens aan te leveren voor meer gedetailleerde evaluaties en eventueel bijkomende eisen op te leggen betreffende de afdekking.

De proefafdekking zal uit twee panelen opgebouwd worden, één bestaande uit het referentieprofiel (*First alternative* in Figuur 16-6, met een doorsnede van het referentieprofiel in Figuur 16-7), het andere bestaande uit een alternatief profiel (*Second alternative*, zie ook Figuur 16-6 en een doorsnede van het alternatieve profiel in Figuur 16-7). Elk paneel bestaat uit een “korte doorsnede” van ongeveer 18 m lengte (*short transect* in Figuur 16-6), en een lange doorsnede, die nog ongeveer 16 m verder doorloopt in de helling. De totale afmeting van de proefafdekking bedraagt ongeveer 70 m in de lengte en 45 m in de breedte.



Figuur 16-6 – Overzicht van de proefafdekking.

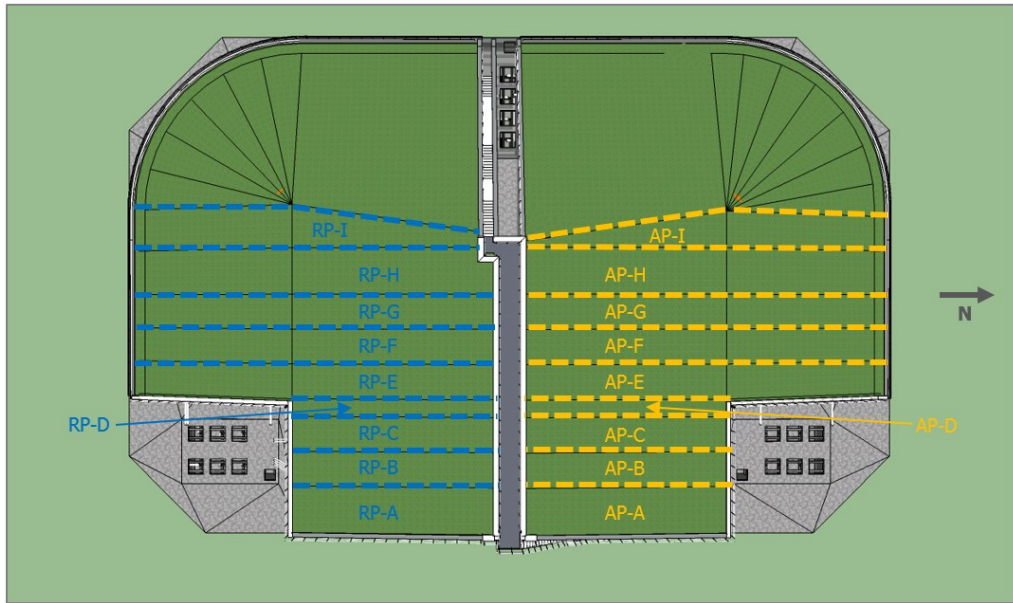


Figuur 16-7 – Doorsnede van het referentieprofiel en het alternatieve profiel

Beide profielen worden uitgerust met verschillende meetinstrumenten, waarvoor verschillende zones gedefinieerd zijn (Figuur 16-8):

- A: Buffer zone voor de oostelijke betonnen muur;
- B: Korte zone voor het meten van de waterbalans;
- C: Multifunctionele zone voor het meten van chemische en biologische variabelen;
- D: Buffer zone tussen de korte en de lange doorsnede;
- E: Buffer zone tussen de korte en de lange doorsnede;
- F: Lange zone voor het meten van de waterbalans;
- G: Multifunctionele zone voor het meten van geotechnische variabelen;
- H: Zone voor het verzamelen van stalen;
- I: Buffer zone tussen de afdekkingslagen en de zijflanken.

De identificatie van de locatie van de meetinstrumenten gebeurt door te verwijzen naar het profiel, de meetzone en de sub-laag. Zo wordt bijvoorbeeld met de benaming AP-C-1b, de laag 1b bedoeld in zone C van het alternatieve profiel.

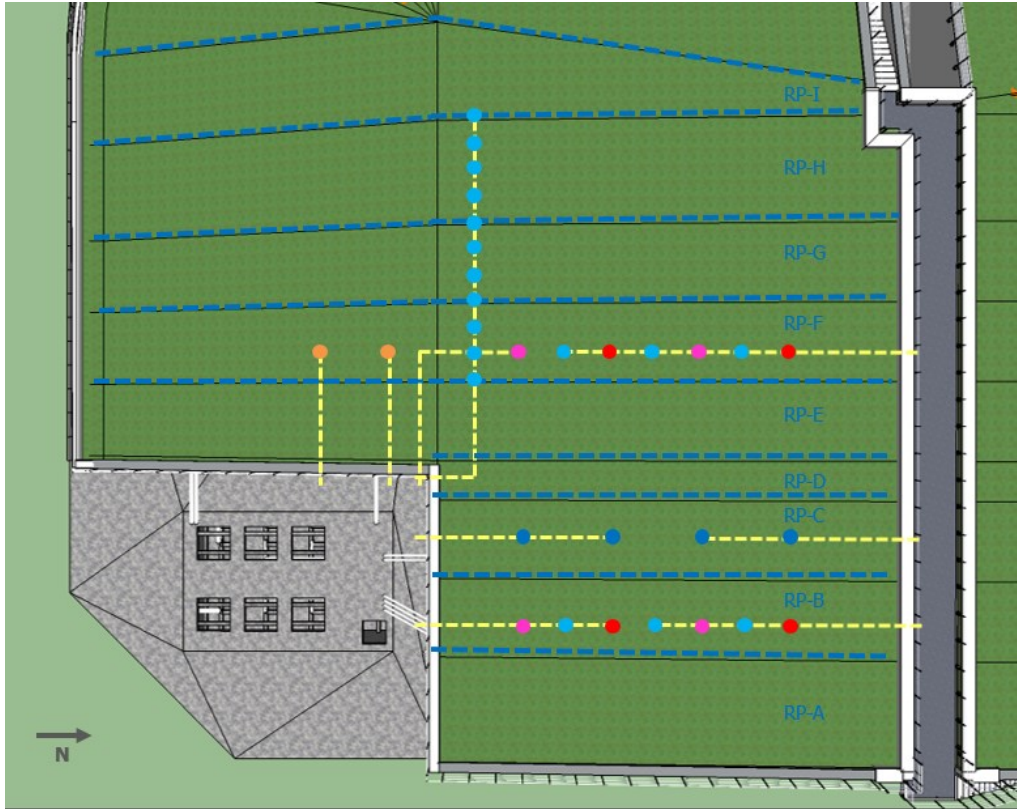


Figuur 16-8 – Voorziene meetzones in de proefafdekking

16.7.2 Beschrijving van het monitoringsysteem

16.7.2.1 TDR meetsysteem

Met het TDR (Time Domain Reflectometry) systeem zullen tijdsreeksen gemeten worden van het watergehalte in de meeste lagen van beide profielen. Dit meetsysteem vormt één van de hoofdsystemen van de proefafdekking. De sondes worden geïnstalleerd in noord-zuidelijke georiënteerde doorsnedes en zullen zowel horizontaal als verticaal geïnstalleerd worden. Er wordt voor de installatie een inplanting vooropgesteld zoals getoond op Figuur 16-9 en Tabel 16-21).



Figuur 16-9 – Voorgestelde locaties voor de installatie van het TDR-systeem in het Referentie Profiel. Het aantal sondes per locatie en de installatiewijze wordt getoond in Tabel 16-21.

Tabel 16-21 – Overzicht van de locatie, de installatiewijze en het totaal aantal TDR-sondes. De locatie wordt voor het Referentie Profiel eveneens aangeduid op Figuur 16-9.

(*) er wordt een doorsnede van verticaal geïnstalleerde sondes voorzien in laag 2b/2c in de oost-westelijke richting

Profiel	Zone	Marker	# profielen	# dieptes	Installatie	# sondes
RP	B	● ●	4	12 (3 in klei)	Horizontaal	48
	B	●	3	1	Verticaal	3
	C	●	4	4	Horizontaal	16
	F	● ●	4	12 (3 in klei)	Horizontaal	48
	F	●	3	1	Verticaal	3
	F helling	●	1	5 (1 in klei)	Horizontaal	5
	F helling	●	1	5 (1 in klei)	Horizontaal	5
	Trans (*)	●	11	1	Verticaal	11
AP	B		4	12 (1/2 in klei)	Horizontaal	48
	B		3	1	Verticaal	3
	C		4	4	Horizontaal	16
	F		4	12 (1/2 in klei)	Horizontaal	48
	F		3	1	Verticaal	3
	F helling		1	5	Horizontaal	5
	F helling		1	5 (1 in klei)	Horizontaal	5
	Trans (*)		11	1	Verticaal	11
Totaal						278

16.7.2.2 Niet-invasieve geofysische metingen

Niet-invasieve geofysische metingen maken het mogelijk om de waterstroming op verschillende locaties doorheen de proefafdekking te meten zonder gebruik te maken van geïnstalleerde sondes in de lagen.

Zo worden met ground-penetrating radar (grondradar) elektromagnetische golven uitgestuurd en kunnen deze golven door de aanwezigheid van verschillende materialen refractie en reflectie ondergaan. Het gewijzigde signaal wordt vervolgens weer opgevangen door een antenne. De metingen laten toe om het vochtgehalte in de verschillende lagen te bepalen. Om een 3D-analyse mogelijk te maken, moeten metingen worden uitgevoerd op verschillende plaatsen en op verschillende dieptes, door gebruik te maken van verschillende vooraf geïnstalleerde buizen. Er worden 10 horizontale wachtbuizen in de proefafdekking voorzien voor het uitvoeren van deze metingen.

16.7.2.3 Initiële en evolutieve karakterisering van de proefafdekking

De hydraulische geleidbaarheid van de klei die gebruikt voor de proefafdekking zal initieel worden bepaald door staalname tijdens de constructie van de proefafdekking. Daarnaast zal de evolutie ervan van de gebruikte klei worden gekarakteriseerd door staalname gedurende de hele levensduur van de proefafdekking. Momenteel worden staalnames voorzien op 3, 6, 9, 12, 15, 20 en 25 jaar. Gedurende elke staalnamecampagne zullen er vier stalen genomen worden. Hiertoe zullen in de laag met gebroken stenen in zone H reeds tijdens de constructie reservatiebuizen geïnstalleerd worden, om de boring doorheen deze laag te vergemakkelijken.

16.7.2.4 Zettingen, verplaatsingen, bodemerosie, afschuivingen, perturbatie door fauna en flora

Fysiek toezicht

Er zal een rooster van markers geïnstalleerd worden aan het oppervlakte van de proefafdekking. Deze markers zullen gebruikt worden voor onder andere het vaststellen en catalogeren van bodemerosie, afschuivingen, aanwezige flora, intrusie van dieren en aanwezigheid van irrigatiekanalen.

Topografische metingen en inclinometers

Zettingen en verplaatsingen zullen systematisch opgevolgd worden door gebruik te maken van inclinometers en topografische opmetingen. Voor de inclinometermetingen zullen vier verticale buizen geïnstalleerd worden (1 in zone G van zowel het RP als AP en 2 in de westelijke zijflank), waarin op regelmatige tijdstippen een mobiele sensor kan worden neergelaten die de vervormingen opmeet. Topografische variaties van de proefafdekking zullen gemeten worden door theodolieten.

16.7.2.5 Drainagebuizen in de proefafdekking

In de proefafdekking wordt een uitgebreid netwerk van drainagebuizen geïnstalleerd om een volledige opmeting van de waterbalans op en doorheen de proefafdekking te kunnen doen. Drainagebuizen worden voorzien voor:

- het opvangen van de laterale waterflux die afstroomt op het bovenoppervlak van de afdekking en de zijflanken;
- het opvangen van water dan insijpelt doorheen de biologische laag en bio-intrusie laag, maar tegengehouden wordt door de infiltratiebarrière;

- het meten van de hoeveelheid percolerend water doorheen de infiltratiebarrière. Hiertoe wordt de basis van de proefafdekking afgedekt met een ondoorlaatbaar membraan, zodat dit percolerend water kan afgevoerd worden naar opvangtanks.

16.7.3 Referentietoestanden

De proefafdekking zal gebruikt worden voor de evaluatie van de performantie van de afdekking. Dit betekent dat de resultaten die verzameld worden met het monitoringprogramma van de proefafdekking informatie geven over de referentietoestanden van de eigenlijke afdekking.

16.8 Referenties hoofdstuk 16

16.8.1 Lijst van referenties

- [R16-1] IAEA safety standard "Monitoring and surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities", Specific Safety Guide, SSG-31, Wenen (2014)
- [R16-2] ISO/IEC 17025:2018, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- [R16-3] Jaarverslag radioactieve atmosferische lozingen Belgoprocess 2010, ref. VEM/2011-01556, 11 juni 2011
- [R16-4] Euratom (2010) Consolidated version of the Treaty establishing the European Atomic Energy Community. Official Journal C 84 of 30.3.2010. Cfr. articles 35, 36 and 37 dealing with environmental impact and monitoring.
- [R16-5] Koninkrijk België, Koninklijk besluit van 30 November 2011 houdende veiligheidsvoorschriften voor kerninstallaties.
- [R16-6] FANC, Radiologisch toezicht in België – Syntheseverlag 2013, September 2014
- [R16-7] Resultaten van de radiologische analyse uitgevoerd door SCK op grondwaterstalen in de gemeente DESSEL in opdracht van de werkgroep Milieu en Gezondheid van STOLA-Dessel, Januari 2004
- [R16-8] SCK•CEN-R-5533, Analyse van Bodemdiepteprofielen (Fase I: Locaties 1, 8 en 19), door Freddy Verrezen, September 2013
- [R16-9] SCK•CEN-R-5574, Analyse van Bodemdiepteprofielen (Fase II: Locaties 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10,11,12, 13, 14, 15, 16 en 18), door Freddy Verrezen, December 2013
- [R16-10] SCK•CEN Analyserapport 114.296.32979, dd. 26/03/2014
- [R16-11] SCK•CEN Analyserapport 114.296.32731, dd. 28/01/2014
- [R16-12] SCK•CEN Analyserapport 114.296.33426, dd. 09/05/2014
- [R16-13] SCK•CEN Analyserapport 114.296.33477, dd. 19/05/2014
- [R16-14] Tractebel Engineering, Invloed van zettingen op porositeit. Nota TSO 16-NTE-3003, 2009
- [R16-15] SCK•CEN, Influence of porosity changes induced by soil compaction on hydraulic conductivity (chapter 4) in Summary note on Hydraulic Conductivity Models as applied to Concrete material, 2009.
- [R16-16] Koninklijk besluit van 20 juli 2001 houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van de ioniserende stralingen. 20 juli 2001

- [R16-17] FANC nota, Veiligheidsvoorschriften voor de inrichtingen voor eindberging van radioactief afval, 2012-12-12-LB-4-4-01-NL, 2013
- [R16-18] Koninkrijk België, Koninklijk Besluit van 31 mei 2016 betreffende de bescherming van de volksgezondheid tegen radioactieve stoffen in voor menselijke consumptie bestemd water.
- [R16-19] FANC, Melding en verslaggeving van significante gebeurtenissen die betrekking hebben op de nucleaire veiligheid, de bescherming van personen en het leefmilieu in de nucleaire inrichtingen van klasse I, FANC nota 2010-054 herz. 2, 2014

16.8.2 Lijst van ondersteunende documenten

- [OD-051] ONDRAF/NIRAS, Geological, hydrogeological and hydrological data for the Dessel disposal site, NIROND-TR 2009-05 E V2 (11/2018)
- [OD-172] VNS, APC radiological consequences for the category A waste disposal facility, VNS-TR-18-009 Rev. 1, (2018)
- [OD-177] ONDRAF/NIRAS, Structural monitoring, NIROND-TR 2011-66 E V2 (11/2018)
- [OD-218] ONDRAF/NIRAS, Assessment of radon release from concrete components, NIROND-TR 2011-52 V1 (30/11/2012)
- [OD-237] ONDRAF/NIRAS, Lijst van plannen voor monitoring en staalnamelokaties radiologisch monitoring programma, NIROND-TR 2012-22 N V2 (01/2019).
- [OD-244] SCK•CEN, Studie van de radiologische toestand van de site Mol-Dessel, SCK-CEN R-3675 (01/06/2002)
- [OD-245] ONDRAF/NIRAS, Oriënterend bodemonderzoek in het kader van de aankoop van het terrein voor oppervlakteberging van Umicore, Nota 2008-0574 (1) (30/05/2008)
- [OD-257] SCK•CEN, Evaluatie van de rechtstreekse stralingsbelasting op de terreinen bestemd voor de toekomstige bergingsinstallatie voor categorie A afval op de grens van Dessel en Mol, verslag EC1920001-172 (30/05/2011)

Bijlage 16-1: Lijst van gebruikte afkortingen

FANC	Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle
NIRAS	Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijststoffen
SCK•CEN	StudieCentrum voor Kernenergie – Centre d’Etudes d’Énergie Nucléaire (België)
SSC	Systemen, Structuren en Componenten belangrijk voor de veiligheid
VD	Veiligheidsdossier
REX	Return of Experience
MLS	Multi level sampler
SLS	Single level sampler
EES	Expected Evolution Scenario
WCB	Water Collecting Building

NIRAS
Nationale Instelling voor Radioactief Afval
en verrijkte Splijtstoffen
Kunstlaan 14
BE-1210 Brussel
Tel. + 32 2 212 10 11
Fax +32 2 218 51 65
www.nirond.be