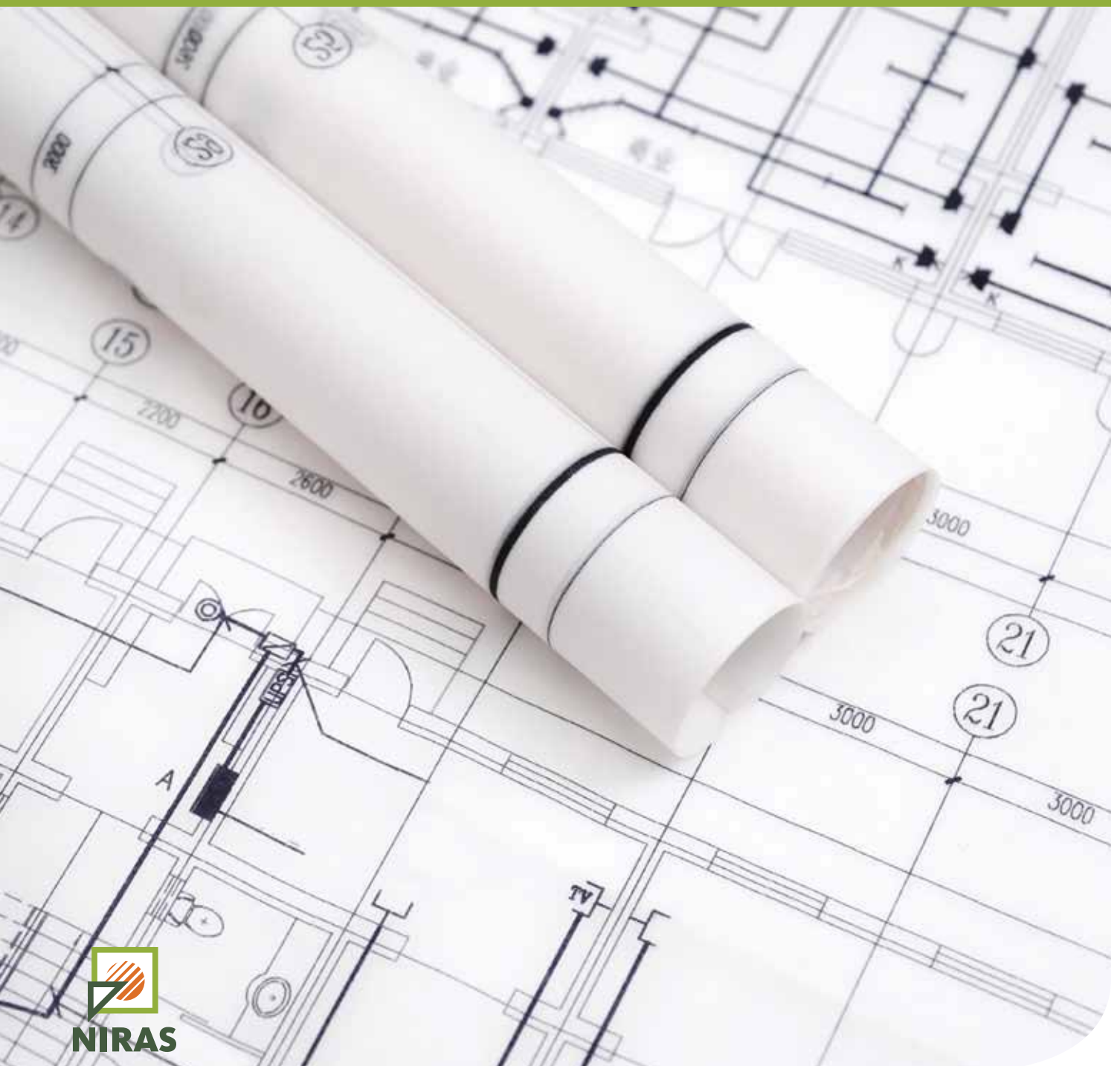


# 8

Hoofdstuk 8

uit het veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel

## Ontwerp en constructie van de berging





**NIRAS**

**NIROND-TR 2011-08**

**Versie 3**

**Categorie A**

## Hoofdstuk 8






### Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

Versie 1 van dit rapport werd opgesteld door W. Bastiaens (NIRAS) en A. Van Cotthem (TRACTEBEL). Het werd nagekeken door W. Cool, W. Wacquier (NIRAS). Het werd goedgekeurd door R. Bosselaers (NIRAS).

Versie 2 van dit rapport werd opgesteld door W. Bastiaens (NIRAS) en A. Van Cotthem (TRACTEBEL). Het werd nagekeken door W. Wacquier (NIRAS). Het werd goedgekeurd door R. Bosselaers (NIRAS).

Versie 3 van dit rapport werd opgesteld door W. Bastiaens (NIRAS), nagekeken door E. Coppens (NIRAS), E. Weetjens (SCK•CEN), A. de Lhoneux (VNS) en K. Remeysen (TRACTEBEL). Het werd goedgekeurd door R. Bosselaers (NIRAS) en B. Van Assche (DFC NIRAS).

| Goedkeuring document  |                              |  |
|---|------------------------------|--|
| Goedkeuring   | Datum                        | Handtekening   |
| Geschreven door:<br><br>WIM BASTIAENS                           | 30/07/2019                   |    |
| Nagekeken door:<br><br>ERIK COPPENS<br><br>EEF WEETJENS         | 30/01/2019<br><br>30/01/2019 | <br> |
| Goedgekeurd door:<br><br>RUDY BOSSELAERS<br><br>BART VAN ASSCHE | 30/01/2019<br><br>30/01/2019 | <br> |

**NIRAS**

Kunstlaan 14

BE-1210 Brussel

[www.nirond.be](http://www.nirond.be)

*De gegevens, resultaten, conclusies en aanbevelingen in dit rapport zijn eigendom van NIRAS. Dit rapport mag worden geciteerd mits bronvermelding. Dit rapport wordt beschikbaar gesteld op voorwaarde dat het niet voor commerciële doeleinden wordt gebruikt. Voor alle commerciële doeleinden, met inbegrip van kopiëren en herpubliceren, is voorafgaandelijke schriftelijke toestemming van ONDRAF/NIRAS vereist.*

| Documentinformatie  |  |                 |                        |
|---|--|-----------------|------------------------|
| <b>Hoofdstuk 8</b><br><b>Ontwerp en constructie van de berging</b><br><b>Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel</b> |  |                 |                        |
| <b>Belgische instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen</b><br><b>NIRAS</b><br><b>Kunstlaan 14</b><br><b>B-1210 Brussel</b>                         |  |                 |                        |
| Serie   | <b>Categorie A</b>   | Documenttype    | <b>NIROND-TR</b>       |
| Status  | <b>Open</b>  | Publicatiedatum | <b>30 januari 2019</b> |
| NIRAS<br>RAPPORTNUMMER  | <b>NIROND-TR 2011-08</b>   | Revisienummer   | <b>Versie 3</b>        |
| Sleutelwoorden  | <b>Categorie A, veiligheid, ontwerp, constructie, berging, vergunningsaanvraag</b> |                 |                        |

| Revisietabel |  |   |  |       |  |                      |             |  |  |  |          |   |  |                      |
|--------------|--|---|--|-------|--|----------------------|-------------|--|--|--|----------|---|--|----------------------|
| Versie       |  | Commentaren en overzicht van wijzigingen ten opzichte van vorige versie   |  |       |  |                      |             |  |  |  |          |   |  |                      |
| Nummer       | Datum  |   |  |       |  |                      |             |  |  |  |          |   |  |                      |
| 1            | 30/11/2011   | Versie voor peer review en overgemaakt aan het FANC   |  |       |  |                      |             |  |  |  |          |   |  |                      |
| 2            | 30/09/2012   | <p>Initiële versie ingediend bij het FANC samen met de vergunningsaanvraag tot oprichtings- en exploitatie (A1) van de oppervlaktebergingsinrichting voor categorie A afval te Dessel</p> <p>De aanpassingen betreffen de veranderde structuur (in lijn met de inhoudsopgave opgesteld door FANC) en het in rekening brengen van opmerkingen van het Internationale Peer Review Team (NEA).</p> <p>Volgende aanpassingen werden o.a. uitgevoerd:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De lay-out van de site werd aangepast (verplaatsing van het administratieve gebouw en aanpassing van het infiltratiebekken); de referentieplannen ondergingen overeenkomstig een update naar versie T1.3 (§8.1 en §8.2.1).</li> <li>• De argumentatie i.v.m. de gebruikte normen (Eurocodes) werd bijgewerkt en een indicatieve analyse volgens een andere norm (ACI 349) werd toegevoegd (§8.4 en §8.5.2.6).</li> <li>• De tekst i.v.m. de ontwerpstrategie werd bijgewerkt (§8.3).</li> <li>• De wapeningshoeveelheden van de modules ondergingen een herevaluatie (§8.5.2).</li> <li>• Een lijst met conformiteitscriteria werd toegevoegd (bijlage 2).</li> </ul>   |  |       |  |                      |             |  |  |  |          |   |  |                      |
| 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"> <thead> <tr> <th>Vraag nr.</th> <th>Titel</th> <th>Nodige aanpassingen aan veiligheidsrapport hoofdstuk 8</th> <th>Aangepaste § in HS08</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HS04-003/12</td> <td>Te detailleren elementen: draagvermogen en variabiliteit van de metingen</td> <td>De aspecten van draagkracht, zettingen en liquefactie worden in HS08 van het veiligheidsdossier behandeld. In HS04 worden de geotechnische aspecten van de site en de zettingsproef in detail besproken.</td> <td>                     Draagkracht: § 8.3.3.1<br/>                     Zettingen: § 8.3.3.2<br/>                     Liquefactie: § 8.3.3.3                 </td> </tr> <tr> <td>HS05-001</td> <td>Informatie fenomenologie van de ontbrekende componenten</td> <td>                     Toevoegen beschrijving voegen tussen de modulewanden en de funderingsplaat en ondersteunende plaat<br/>                     Toevoegen materialen drainagesysteem                 </td> <td>                     §8.6.1.2<br/>                     §8.5.5.4                 </td> </tr> </tbody> </table> | Vraag nr.  | Titel | Nodige aanpassingen aan veiligheidsrapport hoofdstuk 8 | Aangepaste § in HS08 | HS04-003/12 | Te detailleren elementen: draagvermogen en variabiliteit van de metingen | De aspecten van draagkracht, zettingen en liquefactie worden in HS08 van het veiligheidsdossier behandeld. In HS04 worden de geotechnische aspecten van de site en de zettingsproef in detail besproken. | Draagkracht: § 8.3.3.1<br>Zettingen: § 8.3.3.2<br>Liquefactie: § 8.3.3.3 | HS05-001 | Informatie fenomenologie van de ontbrekende componenten | Toevoegen beschrijving voegen tussen de modulewanden en de funderingsplaat en ondersteunende plaat<br>Toevoegen materialen drainagesysteem | §8.6.1.2<br>§8.5.5.4 |
| Vraag nr.    | Titel  | Nodige aanpassingen aan veiligheidsrapport hoofdstuk 8  | Aangepaste § in HS08   |       |  |                      |             |  |  |  |          |   |  |                      |
| HS04-003/12  | Te detailleren elementen: draagvermogen en variabiliteit van de metingen | De aspecten van draagkracht, zettingen en liquefactie worden in HS08 van het veiligheidsdossier behandeld. In HS04 worden de geotechnische aspecten van de site en de zettingsproef in detail besproken.  | Draagkracht: § 8.3.3.1<br>Zettingen: § 8.3.3.2<br>Liquefactie: § 8.3.3.3 |       |  |                      |             |  |  |  |          |   |  |                      |
| HS05-001     | Informatie fenomenologie van de ontbrekende componenten                  | Toevoegen beschrijving voegen tussen de modulewanden en de funderingsplaat en ondersteunende plaat<br>Toevoegen materialen drainagesysteem  | §8.6.1.2<br>§8.5.5.4   |       |  |                      |             |  |  |  |          |   |  |                      |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

|                                    |  |  |   |
|------------------------------------|--|--|---|
| HS07-014                           | Seismische kwalificatie  | Verwijzing opnemen i.v.m. seismische kwalificatie van de afschermingsplaten  | §8.5.3.3                                  |
| HS08-001                           | Non-conformiteiten en bouwfouten                                   | Tekst opgenomen in HS08  | §8.6.9                                    |
| HS08-002                           | Helling drainagesysteem  | Aangepaste doelstelling en ontwerp van de gootjes beschrijven. Lopende R&D toevoegen.  | §8.5.5.4 en §8.6.5                        |
| HS08-003                           | Helling drainagesysteem in vloer verbindingsgalerij                | Beschrijving drainagesysteem uitgewerkt.   | §8.5.5.2<br>DR16.b en §8.5.5.4            |
| HS08-004                           | Gieten van de modulemuren in één beweging                          | Verwijzing opgenomen naar [OD-166] voor meer gedetailleerde informatie betreffende de bouw van de demonstratieproef, de proefresultaten en de <i>lessons learnt</i> . [OD-166] werd uitgebreid met de informatie uit het antwoord. | §8.6.1.2                                  |
| HS08-005<br>(deelvragen 1, 2 en 3) | Tolerantie op de maten van de monoliet en het opvullen en stapelen | Precisie van de rolbrug aanpassen + positionering op absolute coördinaten i.p.v. de ene monoliet tegen de andere<br><br>Tussenruimte van 5 cm tussen monolietstapels<br><br><i>Deelvraag 4 wordt behandeld in HS07.</i>            | §8.5.8.4<br><br>Doorheen HS08             |
| HS08-006                           | Referentieoplossing ondoorlatende topplaat                         | Verduidelijken dat de ondoorlatende topplaat enkel vezelversterkt is (geen klassieke wapeningsstaven).   | §8.5.7.4 en §8.6.7.2                      |
| HS08-007                           | Gedetailleerd plan modules   | Toevoegen van plannen.<br><br>Constructietoleranties verduidelijken.   | §8.1<br><br>§8.6.1.1                      |
| HS08-008                           | Samenstelling beton  | Verwijzen naar § in HS05 waar de samenstelling besproken wordt.  | §8.5.1.4                                  |
| HS08-009                           | Opvulling inspectieruimte (thermische belasting)                   | Verwijzing naar studie hieromtrent toevoegen.  | §8.6.1.2                                  |
| HS08-010                           | Gecompacteerd klei (zand) op niet-gecompacteerde klei (zand)       | Beschrijving van de manier waarop deze lagen aangelegd worden.   | §8.6.7.2                                  |
| HS08-011                           | Aantoonbaarheid van de permeabiliteit betonconstructies            | Beschouwingen rond permeabiliteit toegevoegd.  | §8.5.1.2 (DR5.a)                          |
| HS08-012                           | Bath-tub effect  | Beschrijving van het ABS toegevoegd.   | §8.5.5.4                                  |
| HS08-013                           | Ontwerp van de floating slabs                                      | Doel vlotplaten beschreven. Voor detailuitwerking verwijzen naar ervaring uit bestaand project.  | §8.5.7.2<br>§8.5.7.4                      |
| HS08-014                           | QA/QC  | Antwoord verwerkt in tekst.  | §8.8.2                                    |
| HS08-015                           | Afleiden van de conformiteitscriteria                              | Oplijsten ontwerpvereisten.<br><br>Oplijsten en verantwoorden van conformiteitscriteria + QC hierop<br><br>Toepassen optimalisering.<br><br>Behandeling van non-conformiteiten   | §8.5 en Bijlage 2<br>§8.5 en §8.7<br>§8.5 |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

|                |   |  |                         |
|----------------|---|--|-------------------------|
|                |   | en constructieafwijkingen  | §8.6.9                  |
| HS08-016       | Geheel van conformiteitscriteria                | Herziening lijst met conformiteitscriteria                                       | §8.5                    |
|                |   | Opnemen van argumentatie rond de conformiteitscriteria en validatie ervan        | §8.5 en §8.7            |
| HS08-017       | Keuze van de materialen                         | Informatie toegevoegd over materiaalkeuzes van bepaalde componenten:             |                         |
|                |   | Zand van de zand-cement ophoging   | §8.5.4.2 en §8.5.4.4    |
|                |   | Voegen   | §8.6.1.2 en §8.5.5.4    |
|                |   | Opvulmateriaal inspectieruimte   | Zie HS08-008 en Fiche 9 |
|                |   | Opvulmateriaal drainagebuizen  | Zie HS08-012            |
|                |   | Referentiesamenstelling beton  | Zie HS08-008            |
| HS08-018       | Alkali-aggregaat reacties                       | Conformiteitscriterium aangaande ASR specifïeren                                 | §8.5 en §8.7            |
| HS08-019       | Het aantal modules en hun configuratie          | Verwijzing opnemen naar document dat deze elementen bespreekt.                   | §8.5.1.4                |
| HS08-020       | Aanhechting metalen dakstructuur                | Verwijzing opnemen naar document dat deze elementen bespreekt.                   | §8.5.6.4                |
| HS08-021       | Ontwerpvereisten voegen                         | Ontwerpvereisten voegen opgenomen in tekst.                                      | Voetnoot in §8.5.1.4.   |
| HS08-022       | <i>Mechanische impact F16</i>                   | <i>Antwoord wordt behandeld in HS13.</i>   | /                       |
| HS08-023       | Ontwerp van de modules                          | Toevoegen overzicht van de belastingen en belastingscombinaties voor fase Ia     | §8.5.6.3                |
|                |   | IDEM voor fase Ib tot III  | §8.5.1.3                |
|                |   | Aanpassen curves voor laterale gronddruk (beschouwen van uitvoeringsbelastingen) | §8.5.1.3<br>Figuur 8-11 |
| HS08-OD259-001 | <i>SLS en ACI 349</i>                           | <i>Geen aanpassing nodig in HS08.</i>  | /                       |
| HS08-OD259-002 | <i>Details berekeningen ACI versus Eurocode</i> | <i>Geen aanpassing nodig in HS08.</i>  | /                       |
| HS13-003       | Algemene inhoud van het hoofdstuk 13            | Beschrijving van de decontaminatiedouche opgenomen.                              | §8.5.10.1               |
| HS14-001       | Beschrijving verwachte evolutie                 | Berekening i.v.m. seismische stabiliteit van de afdekking aanpassen              | §8.5.7.3                |
| Fiche 7        | Klassering van SSC's                            | Verwijzing opgenomen naar §2.8.7 van HS02  | §8.5                    |
| Fiche 8        | Ontwerpgebeurtenissen                           | Afleiden en oplistten van de ontwerpbasis voorvallen.                            | § 8.3.2 en Bijlage 3    |
| Fiche 9        | Doenbaarheid opvulling                          | Verwijzing opgenomen naar HS10 §10.3.2   | §8.6.1.2                |



Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| Fiche 10   | Optimalisering   | Verwijzing naar optimaliseringsoefening opgenomen.<br>Geoptimaliseerd ontwerp beschreven.   | §8.5<br>Heel HS08                                  |
| Fiche 11   | Ontwerpinputs en ontwerpvereisten                        | Verwijzing naar afleiding van ontwerpinputs en –vereisten<br>Oplijsting van ontwerpvereisten.<br>Afleiding en oplijsting van conformiteitscriteria en bijhorende QC | § 8.3.1, §8.5<br>§8.5 en Bijlage 2<br>§8.5 en §8.7 |
| ST-003   | Ondersteunende documenten met invloed op de ontwerpbasis | Verwijzing opgenomen naar [R8-31] en zijn referentie [R8-32].   | §8.1   |
| ST-006   | Terugkeerperiode hevige regenval                         | Verwijzingen toegevoegd naar beschouwingen regenval groter dan de ontwerpwaarde   | §8.5.5.3 en §8.5.9.4                               |
| ST-007   | Waterafvoer stalen dak                                   | Bespreking dakspuwers toegevoegd  | §8.5.9.4   |
| ST-008   | Capaciteit infiltratiebekken                             | Bespreking overloop infiltratiebekken toegevoegd.   | §8.5.9.4   |
| ST-009   | Gevolgen extreme tornado's                               | Ontwerpbasis tornado werd aangepast   | §8.3.2   |
| ST-020   | Emergency box  | Beschrijving van de <i>emergency box</i> opgenomen.   | §8.5.8.4   |
| <p><b>Overige wijzigingen:</b><br/>Heel het hoofdstuk werd herwerkt om de gewijzigde aanpak wat betreft afleiding van conformiteitscriteria van ontwerpvereisten te weerspiegelen. Dit heeft een invloed op de structuur van het hele hoofdstuk.</p> |  |   |  |

## Inhoudsopgave

|            |   |             |
|------------|---|-------------|
| 8          | Ontwerp en constructie van de berging                         | 8-1         |
| <b>8.1</b> | <b>Inleiding en doelstellingen</b>                            | <b>8-1</b>  |
| <b>8.2</b> | <b>Algemene beschrijving</b>                                  | <b>8-5</b>  |
| 8.2.1      | Inrichting van de site  | 8-5         |
| 8.2.2      | Periodes en fases in de levensloop van de bergingsinrichting  | 8-8         |
| <b>8.3</b> | <b>Input voor het ontwerp en de ontwerpvereisten</b>          | <b>8-9</b>  |
| 8.3.1      | Ontwerpinputs en -vereisten                                   | 8-9         |
| 8.3.2      | Ontwerpbasis voorvallen                                       | 8-9         |
| 8.3.2.1    | Ontwerpbasis voorvallen afgeleid op basis van leidraad [R8-2] | 8-9         |
| 8.3.2.2    | Aardbevingen  | 8-11        |
| 8.3.3      | Verificatie stabiliteit van de installaties                   | 8-11        |
| 8.3.3.1    | Draagkracht   | 8-11        |
| 8.3.3.2    | Zettingen   | 8-12        |
| 8.3.3.3    | Liquefactie   | 8-17        |
| <b>8.4</b> | <b>Algemene ontwerp- en constructieregels</b>                 | <b>8-19</b> |
| 8.4.1      | Ontwerp   | 8-19        |
| 8.4.2      | Constructie   | 8-20        |
| <b>8.5</b> | <b>Ontwerp en beschrijving van de berging</b>                 | <b>8-22</b> |
| 8.5.1      | Module  | 8-23        |
| 8.5.1.1    | Specifieke ontwerpnormen en voorschriften                     | 8-23        |
| 8.5.1.2    | Ontwerpvereisten  | 8-23        |
| 8.5.1.3    | Ontwerpberekeningen   | 8-33        |
| 8.5.1.4    | Beschrijving van het ontwerp                                  | 8-39        |
| 8.5.1.5    | Vergelijking Eurocode VS. ACI                                 | 8-41        |
| 8.5.2      | Monoliet  | 8-42        |
| 8.5.3      | Afschermingsplaten  | 8-42        |
| 8.5.3.1    | Specifieke ontwerpnormen en voorschriften                     | 8-42        |
| 8.5.3.2    | Ontwerpvereisten  | 8-42        |
| 8.5.3.3    | Ontwerpberekeningen   | 8-45        |
| 8.5.3.4    | Beschrijving van het ontwerp                                  | 8-47        |
| 8.5.4      | Funderingen   | 8-48        |
| 8.5.4.1    | Specifieke ontwerpnormen en voorschriften                     | 8-48        |
| 8.5.4.2    | Ontwerpvereisten  | 8-48        |

## Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

### Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

|            |   |              |
|------------|---|--------------|
| 8.5.4.3    | Ontwerpberekeningen   | 8-51         |
| 8.5.4.4    | Beschrijving van het ontwerp  | 8-54         |
| 8.5.5      | Inspectiegalerij, drainagesysteem en anti-badkuipsysteem (ABS)                    | 8-55         |
| 8.5.5.1    | Specifieke ontwerpnormen en voorschriften   | 8-55         |
| 8.5.5.2    | Ontwerpvereisten  | 8-55         |
| 8.5.5.3    | Ontwerpberekeningen   | 8-60         |
| 8.5.5.4    | Beschrijving van het ontwerp  | 8-61         |
| 8.5.6      | Vast stalen dak   | 8-67         |
| 8.5.6.1    | Specifieke ontwerpnormen en voorschriften   | 8-67         |
| 8.5.6.2    | Ontwerpvereisten  | 8-68         |
| 8.5.6.3    | Ontwerpberekeningen   | 8-69         |
| 8.5.6.4    | Beschrijving van het ontwerp  | 8-76         |
| 8.5.7      | Afdekking   | 8-81         |
| 8.5.7.1    | Specifieke ontwerpnormen en voorschriften   | 8-81         |
| 8.5.7.2    | Ontwerpvereisten  | 8-81         |
| 8.5.7.3    | Ontwerpberekeningen   | 8-90         |
| 8.5.7.4    | Beschrijving van het ontwerp  | 8-92         |
| 8.5.8      | Manutentiewerktuigen  | 8-94         |
| 8.5.8.1    | Specifieke ontwerpnormen en voorschriften   | 8-94         |
| 8.5.8.2    | Ontwerpvereisten  | 8-95         |
| 8.5.8.3    | Ontwerpberekeningen   | 8-96         |
| 8.5.8.4    | Beschrijving van het ontwerp  | 8-97         |
| 8.5.9      | Diverse systemen, structuren en componenten (SSC's) belangrijk voor de veiligheid | 8-101        |
| 8.5.9.1    | Specifieke ontwerpnormen en voorschriften   | 8-102        |
| 8.5.9.2    | Ontwerpvereisten  | 8-102        |
| 8.5.9.3    | Ontwerpberekeningen   | 8-104        |
| 8.5.9.4    | Beschrijving van het ontwerp  | 8-106        |
| 8.5.10     | Nucleaire uitrustingen en infrastructuren   | 8-111        |
| 8.5.10.1   | Beschrijving  | 8-111        |
| 8.5.10.2   | Ontmanteling  | 8-112        |
| <b>8.6</b> | <b>Constructie van de berging</b>   | <b>8-113</b> |
| 8.6.1      | Modules   | 8-114        |
| 8.6.1.1    | Specifieke constructienormen en voorschriften                                     | 8-114        |
| 8.6.1.2    | Beschrijving  | 8-115        |

## Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

### Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

|             |   |              |
|-------------|---|--------------|
| 8.6.2       | Monoliet  | 8-119        |
| 8.6.3       | Afschermingsplaten  | 8-119        |
| 8.6.4       | Funderingen   | 8-119        |
| 8.6.5       | Inspectiegalerij, drainagesysteem en anti-badkuipsysteem (ABS)          | 8-120        |
| 8.6.6       | Vast stalen dak   | 8-122        |
| 8.6.6.1     | Specifieke constructienormen en voorschriften                           | 8-122        |
| 8.6.6.2     | Beschrijving  | 8-122        |
| 8.6.7       | Afdekking   | 8-124        |
| 8.6.7.1     | Specifieke constructienormen en voorschriften                           | 8-124        |
| 8.6.7.2     | Beschrijving  | 8-125        |
| 8.6.8       | Manutentiewerktuigen  | 8-127        |
| 8.6.8.1     | Specifieke constructienormen en voorschriften                           | 8-127        |
| 8.6.8.2     | Beschrijving  | 8-127        |
| 8.6.9       | Behandeling van non-conformiteiten                                      | 8-127        |
| 8.6.9.1     | Niet-conforme materialen, onderdelen of componenten                     | 8-128        |
| 8.6.9.2     | Documentatie van niet-conformiteiten                                    | 8-129        |
| 8.6.9.3     | Corrigerende maatregelen  | 8-130        |
| 8.6.9.4     | Planning van corrigerende maatregelen                                   | 8-130        |
| 8.6.9.5     | Meermaals voorkomende omstandigheden die nadelig zijn voor de kwaliteit | 8-131        |
| <b>8.7</b>  | <b>Conformiteitscriteria</b>  | <b>8-132</b> |
| <b>8.8</b>  | <b>Kwaliteitsborging en kwaliteitscontrole</b>                          | <b>8-146</b> |
| 8.8.1       | Ontwerp   | 8-146        |
| 8.8.1.1     | Algemeen  | 8-146        |
| 8.8.1.2     | Kwalificatie, verificatie en validatie                                  | 8-146        |
| 8.8.2       | Constructie   | 8-146        |
| 8.8.2.1     | QA Algemeen   | 8-146        |
| 8.8.2.2     | QC tijdens de constructie   | 8-147        |
| 8.8.3       | Monitoring na constructie   | 8-148        |
| <b>8.9</b>  | <b>Ondersteunende documenten aan Hoofdstuk 8</b>                        | <b>8-149</b> |
| <b>8.10</b> | <b>Andere referenties</b>   | <b>8-150</b> |
|             | <b>Bijlage 8-1: Lijst van afkortingen</b>                               | <b>8-153</b> |
|             | <b>Bijlage 8-2: Overzicht ontwerpvereisten</b>                          | <b>8-156</b> |
|             | <b>Bijlage 8-3: Afleiding ontwerpbasis voorvallen</b>                   | <b>8-157</b> |

## 8 Ontwerp en constructie van de berging

### 8.1 Inleiding en doelstellingen

Dit hoofdstuk is een referentie voor het ontwerp, de constructie en de beschrijving van de installaties, hun infrastructuren, uitrustingen en bijgebouwen gedurende de verschillende periodes en fases van het leven van de bergingsinstallaties.

Dit hoofdstuk bevat o.a. een gedetailleerde beschrijving van de inrichting. Wanneer de inrichting gerealiseerd is, bevat het hoofdstuk o.a. “as built” tekeningen, de reële inplanting van de installaties en de bijgebouwen op de site.

In dit hoofdstuk worden de grondslagen van het ontwerp van de installaties, een gedetailleerde beschrijving van structuren, systemen en componenten alsook een overzicht van de gebruikte constructietechnieken ontwikkeld. Er wordt een beschrijving van de kwaliteitsborging en de voorziene kwaliteitscontroles gegeven, alsook van de conformiteitscriteria die zullen aantonen dat de reële installatie (as built) de veiligheidsfuncties bezit en zal behouden die haar in de veiligheidsevaluatie worden toegekend.

Het beheer van de niet-conformiteiten verbonden met het constructieproces maakt ook deel uit van het hoofdstuk.

Het huidige document bevat de belangrijkste elementen en verwijst naar onderliggende documenten voor meer gedetailleerde informatie.

Vertrekpunt van het ontwerp van de bergingsinrichting was het STOLA-Dessel-voorontwerp, overeenkomstig de beslissing van de ministerraad van 23 juni 2006. Dit ontwerp wordt aangeduid als “**ontwerp T0**”. Het ontwerp dat beschreven werd in de versie van de vergunningsaanvraag die begin 2013 ingediend werd bij FANC wordt aangeduid als “**ontwerp T1**” (ingediende versie was “ontwerp T1.3”). Op basis van deze aanvraag vond een vraag- en antwoordproces plaats. Het ontwerp in deze versie van HS08 wordt aangeduid als versie “**ontwerp T2.0**”.

Tabel 8-1 bevat een overzicht van de tekeningen en duidt aan welke tekening informatie geeft over welke groep van componenten. De plannen opgenomen in Bijlage 1 aan het veiligheidsrapport.

#### **Belangrijke opmerking**

Tijdens de aanbestedingsfase en de daarop volgende constructiefase zullen de technische specificaties, constructietekeningen en as built tekeningen worden opgesteld. Deze zullen in overeenstemming zijn met de relevante veiligheidsparameters, bepaald door het veiligheidsrapport en worden ter beschikking gesteld van de veiligheidsautoriteit. Afwijkingen zullen aanleiding geven tot aanvullende analyses (zie ook §8.6.9) en in geval van wijzigingen zal het wijzigingsproces gevolgd worden. Het beheer van wijzigingen aan het ontwerp wordt beschreven in §2.5.4.8 van HS02.

Tabel 8-1: De referentietekeningen die het ontwerp T2.0 definiëren met de betrokken groep van SSC's.

| Tekeningnummer |     |    |    |     | Rev | Titel   | Afdekking | Module | Monoliet | Fundering | Site / lay-out | Stalen dakstructuur en manufactie |
|----------------|-----|----|----|-----|-----|---|-----------|--------|----------|-----------|----------------|-----------------------------------|
| 121            | ALL | GC | CO | 001 | I   | Caissons - Monolieten types en verpakkingen   |           |        | x        |           |                |                                   |
| 121            | ALL | GC | CO | 002 | K   | Bekisting caisson - Type I  |           |        | x        |           |                |                                   |
| 121            | ALL | GC | CO | 003 | M   | Bekisting caisson - Type II   |           |        | x        |           |                |                                   |
| 121            | ALL | GC | CO | 004 | I   | Bekisting caisson - Type III  |           |        | x        |           |                |                                   |
| 121            | ALL | GC | CO | 005 | G   | Hijsanker caisson   |           |        | x        |           |                |                                   |
| 121            | ALL | GC | CO | 006 | F   | Bekisting afschermingsplaten  |           | x      |          |           |                |                                   |
| 121            | ALL | GC | CO | 101 | D   | Oppervlakteberging van laag radioactief afval (Cat. A) - Referentie oplossing       | x         | x      | x        | x         |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | CO | 102 | G   | Bekistingsplan - Modules  |           | x      |          | x         |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | CO | 103 | F   | Bekistingsplan - Kopmodules   |           | x      |          | x         |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | FE | 100 | C   | Wapeningsplan – Wand V1   |           | x      |          |           |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | FE | 101 | C   | Wapeningsplan – Wand V2   |           | x      |          |           |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | FE | 102 | C   | Wapeningsplan – Wand V3 / Wand V4   |           | x      |          |           |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | FE | 103 | C   | Wapeningsplan – Funderingsplaat / kolommen  |           | x      |          |           |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | FE | 104 | D   | Wapeningsplan –Ondersteunende plaat   |           | x      |          |           |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | FE | 105 | C   | Wapeningsplan – Structurele topplaat  |           | x      |          |           |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | FE | 106 | C   | Wapeningsplan – Betonnen sokkels  |           | x      |          |           |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | FE | 107 | C   | Wapeningsplan – Betonnen sokkels kopwanden  |           | x      |          |           |                |                                   |
| 124            | MGW | SA | EV | 102 | C   | Berging – inspectiegalerij / WCB – drainagesysteem planzicht                        |           | x      |          |           |                |                                   |
| 121            | MGW | GC | SM | 001 | E   | Staalstructuur As 1/2 & 19/20 - Planzichten + Sneden                                |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 121            | MGW | GC | SM | 002 | D   | Staalstructuur As 3/4 tem As 17/18 - Planzichten + Sneden                           |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 121            | MGW | GC | SM | 003 | D   | Staalstructuur As start & As end - Kopgevel - Planzichten + Sneden                  |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 121            | MGW | GC | SM | 004 | D   | Staalstructuur As 1/2 & As 19/20 - Centrale bordessen - Planzichten + Sneden        |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 121            | MGW | GC | SM | 005 | C   | Staalstructuur As 3/4 tem As 17/18 - Centrale bordessen - Planzichten + Sneden      |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 121            | MGW | GC | SM | 006 | C   | Staalstructuur - Laterale bordessen - Planzichten + Sneden                          |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 121            | MGW | GC | SM | 007 | C   | Staalstructuur - Trappentoren - Planzichten + Sneden + 3D-zicht                     |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 121            | MGW | GC | SM | 008 | C   | Staalstructuur - Wegneembaar tijdelijke structuur - Planzichten + Sneden + 3D-zicht |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 124            | MGW | GC | CO | 001 | C   | Water collectie gebouw - Bekistingsplan   |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 124            | MGW | GC | CO | 002 | C   | Inspectiegalerij - Bekistingsplan   |           | x      |          |           |                | x                                 |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| Tekeningnummer |     |    |      |       | Rev | Titel  | Afdekking | Module | Monoliet | Fundering | Site / lay-out | Stalen dakstructuur en manutentie |
|----------------|-----|----|------|-------|-----|--|-----------|--------|----------|-----------|----------------|-----------------------------------|
|                |     |    |      |       |     | bodemplaat   |           |        |          |           |                |                                   |
| 124            | MGW | GC | CO   | 003   | C   | Inspectiegalerij - Bekistingsplan dakplaat   |           | x      |          |           |                | x                                 |
| 124            | MGW | GC | CO   | 004   | C   | Inspectiegalerij – Bekistingsplan Sneden   |           | x      |          | x         |                | x                                 |
| 124            | MGW | GC | CO   | 005   | B   | Inspectiegalerij – Bekistingsplan Monitoring kamers  |           |        |          | x         |                | x                                 |
| 401            | ALL | GC | PH   | 001   | D   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Faseringsplan - Stap I                            |           |        |          |           | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | PH   | 002   | D   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Faseringsplan - Stap IIa                          |           |        |          |           | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | PH   | 003   | D   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Faseringsplan - Stap III                          |           |        |          |           | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | PH   | 004   | D   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Faseringsplan - Stap IV                           |           |        |          |           | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | PH   | 005   | D   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Faseringsplan - Stap Va                           |           |        |          |           | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | PH   | 006   | C   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Faseringsplan - Dwarsneden                        |           |        |          | x         | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | PH   | 018   | C   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Faseringsplan - Stap IIb                          |           |        |          |           | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | PH   | 021   | C   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Faseringsplan - Stap Vb                           |           |        |          |           | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | PH   | 023   | B   | Project site oppervlaktebergung Cat. A – Inplantingsplan voor zone van twintig modules     |           |        |          |           | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | PH   | 024   | B   | Project site oppervlaktebergung Cat. A – Inplantingsplan voor zone van 34 modules          |           |        |          |           | x              |                                   |
| 401            | ALL | GC | LA   | 001   | C   | Project site oppervlaktebergung Cat. A – Algemene inplanting exploitatie fase              |           |        |          |           | x              |                                   |
| 312            | RB  | MA | SM   | 001   | A   | Rolbrug – Overzichtstekening   |           |        |          |           |                | x                                 |
| 312            | RB  | MA | SM   | 002   | A   | Grijper & laadblok – Overzichtstekening  |           |        |          |           |                | x                                 |
| 312            | RB  | MA | SM   | 003   | -   | Rolbrug – details view   |           |        |          |           |                | x                                 |
| AE             | A   | L  | +00- | 02/16 | H   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Toegangscluster<br>Gebouw A - Verdiepingen -1 & 0 |           |        |          |           |                |                                   |
| AE             | A   | L  | +01- | 03/16 | G   | Project site oppervlaktebergung Cat. A - Toegangscluster<br>Gebouw A - Verdieping +1       |           |        |          |           |                |                                   |

In andere hoofdstukken van dit veiligheidsdossier worden andere aspecten behandeld die een link hebben met het ontwerp en de constructie van de berging:

- Hoofdstuk 2 (HS02) beschrijft het veiligheidsbeleid, de algemene veiligheidsbenadering en de strategische veiligheidsoriëntaties die gevolgd worden voor het ontwerp en de constructie van een veilige berging. Meer bepaald de ontwerpstrategie, het veiligheidsconcept, de klassering en optimalisering worden beschreven in (HS02).
- Hoofdstuk 3 (HS03) beschrijft het beheersysteem. In Hoofdstuk 3 komen de volgende aspecten aan bod die met ontwerp en constructie gerelateerd zijn:
  - ▶ QA/QC tijdens de constructiefase;
  - ▶ de organisatiestructuur tijdens inbedrijfstelling en tijdens uitbating.
- Hoofdstuk 4 (HS04) beschrijft de karakteristieken van de site dewelke een input vormen voor het ontwerp.
- Hoofdstuk 5 (HS05) beschrijft de fenomenologie dewelke van belang is bij het ontwerp.
- Hoofdstuk 6 (HS06) beschrijft het radioactieve afval dat in aanmerking komt voor oppervlakteberging.
- Hoofdstuk 7 (HS07) beschrijft het ontwerp en de constructie van de bergingscolli.
- Hoofdstuk 10 (HS10) beschrijft de sluitingsfase. Bepaalde zaken die tijdens de sluitingsfase uitgevoerd moeten worden hebben hun invloed op het ontwerp en de initiële constructiefase.
- Hoofdstuk 12 (HS12) bespreekt het beheer van de stralingsbescherming van de bergingsinrichting.
- Hoofdstuk 13 (HS13) behandelt o.a. de ontwerpbasis voorvallen waarmee rekening moet gehouden worden bij het ontwerp.
- Hoofdstuk 14 (HS14) bevat de veiligheidsberekeningen; het ontwerp is een belangrijke input voor deze berekeningen.
- Hoofdstuk 15 (HS15) beschrijft de conformiteitscriteria die aan de bergingscolli worden opgelegd ten einde zowel de operationele veiligheid als de veiligheid op lange termijn te verzekeren. Een deel ervan komt voort uit het ontwerpproces.
- Hoofdstuk 16 (HS16) beschrijft het monitoringprogramma, met inbegrip van de monitoringactiviteiten gedurende de uitbating van de berging.
- Hoofdstuk 17 (HS17) beschrijft de uitbatingslimieten en -voorwaarden die ervoor zorgen dat de installatie wordt uitgebaat overeenkomstig de hypothesen en de ontwerpdoelstellingen.

Verder is er een link van HS08 met het Stress Test rapport [R8-31]. In dit rapport (en zijn referentie [R8-32]) wordt besproken wat het effect is van groter dan ontwerpbelastingen.

Ten slotte bevat §8.9 een lijst met ondersteunende documenten aan dit hoofdstuk.



## 8.2 Algemene beschrijving

### 8.2.1 Inrichting van de site

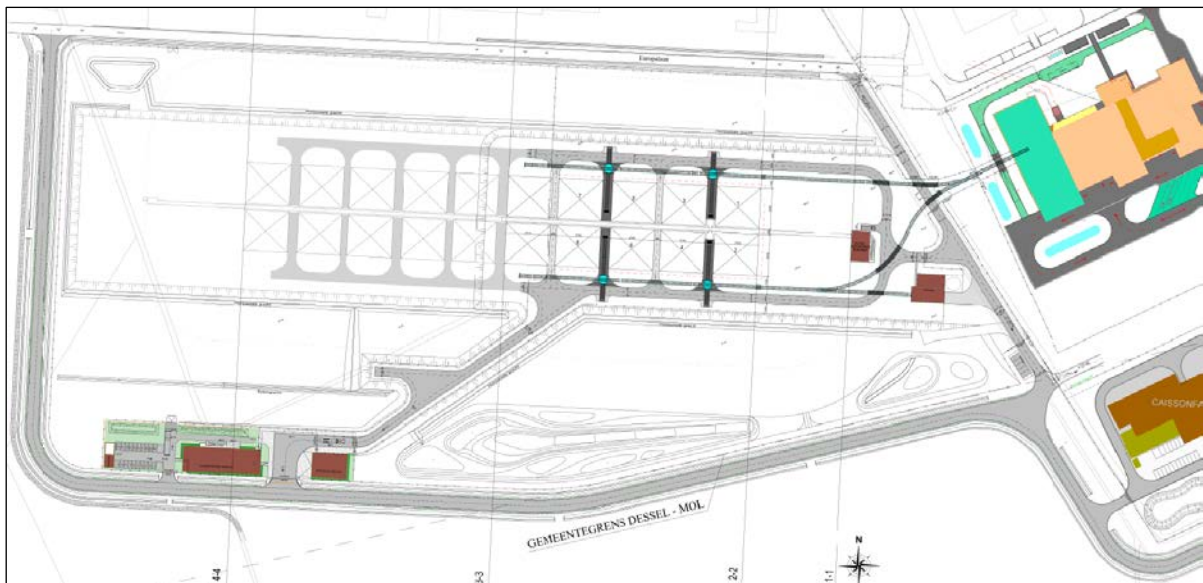
De oppervlaktebergingsinrichting bevindt zich in de gemeente Dessel. De noordzijde van het terrein grenst aan de *Europalaan*. De oostkant van de site grenst aan de site van Belgoprocess, meer bepaald aan de toekomstige IPM (Installatie voor de Productie van Monolieten). De monolieten zullen vanaf de IPM getransporteerd worden naar de bergingsinrichting. Een deel van de zuidkant van de site loopt parallel met de gemeentegrens Dessel-Mol. De site is naast de site van Belgoprocess ingeplant om de grondoppervlakte te beperken en de transportafstand en -tijd voor het vervoeren van de monolieten van de IPM naar de bergingsinrichting te beperken. Voor meer informatie omtrent de inplanting van de bergingsinrichting wordt verwezen naar §4.2 van HS04.

De bergingsinrichting bestaat uit meerdere elementen en zal in verschillende, opeenvolgende fasen gebouwd worden. Figuur 8-1 en Figuur 8-2 geven het algemene ontwerp van de site weer, respectievelijk voor de configuratie met 20 modules en die met 34 modules, waarbij in de laatste figuur de hypothese getoond wordt dat de afdekking over de eerste 20 modules reeds geïnstalleerd is.

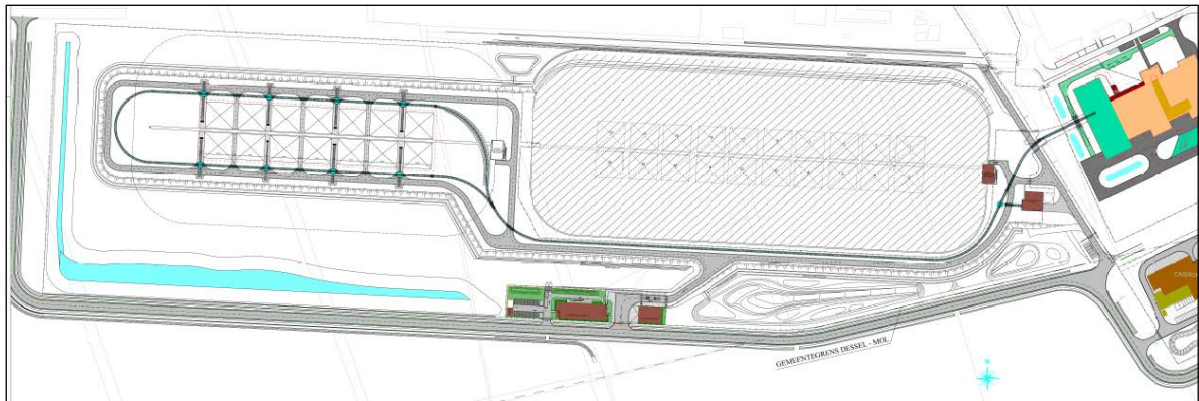
Voor een overzicht van de evolutie van de lay-out van de site wordt verwezen naar de plannen 401\_ALL\_GCPH\_xxx (zie Tabel 8-1 en in bijlage aan het veiligheidsdossier).

De site bestaat uit drie zones die fysiek gescheiden zijn: een gecontroleerde zone, een bewaakte zone en een vrij toegankelijke zone (zie §12.6.4 HS12). De hoofdingang van de site bevindt zich aan de zuidzijde, vlakbij het administratieve gebouw. Secundaire toegangen bevinden zich verspreid over de perimeter van de site.

Elke zone is voorzien van **wegen en/of sporen** om alle onderdelen met elkaar te verbinden.



Figuur 8-1: Algemeen ontwerp van de site: de fase met de eerste 20 modules wordt hier getoond (uittreksel van plan 401\_ALL\_GCPH\_002, zie bijlage 1 aan het veiligheidsrapport).



**Figuur 8-2:** Algemeen ontwerp van de site volgens de hypothese met 34 modules en een reeds geplaatste afdekking op de eerste 20 modules (uittreksel van plan 401\_ALL\_GCPH\_004, zie bijlage 1 aan het veiligheidsrapport).

In totaal zijn er **34 bergingsmodules** gepland. Deze zijn gebouwd op een **ophoging** (de '**funderingen**' genoemd) gemaakt uit een grindlaag, een zand-cementlaag en verschillende geosynthetische materialen. Het onderste deel van de funderingen wordt gevormd door een grondverbetering waarbij calciumbentoniet (weinig zwellend) ingefreesd wordt in de bovenste decimeters van de aanwezige zandlaag. De 34 modules zijn verdeeld over twee zones – één van 20 en één van 14 modules. Deze zullen elk worden afgedekt. De bergingsmodules zullen gebouwd worden in verschillende fasen:

- In een eerste fase zullen de 20 modules van de oostelijke tumulus worden gebouwd. Dit wordt gerealiseerd in twee rijen van 10 modules. Elke rij is voorzien van een **rolbrug**.
- Wanneer voldoende modules zijn gebouwd (bijvoorbeeld 8) en alle andere noodzakelijke voorzieningen en voorwaarden zijn vervuld, kan de uitbating van de site starten (zie §8.6). In parallel zullen de overige modules van de eerste tumulus gerealiseerd worden. De operationele zone en de werfzone zullen fysiek van elkaar gescheiden worden (zie Figuur 8-3).
- Wanneer de eerste 20 modules bijna gevuld zijn met monolieten, zal de realisatie van de volgende zone starten. Op dit ogenblik zijn twee rijen van elk 7 modules voorzien voor de tweede tumulus. Dit aantal is afhankelijk van de voorspellingen voor toekomstige afvalvolumes, zie HS06 §6.4. Bij wijziging zullen, indien nodig, bijkomende veiligheidsevaluaties uitgevoerd worden.

Figuur 8-4 geeft een schematisch beeld van de bergingsinstallatie.

Een **inspectieruimte** is aanwezig onder elk van de modules. Deze ruimte is toegankelijk voor inspectie-apparatuur (niet voor personen) vanuit een centrale **inspectiegalerij**.

Gedurende fase Ia<sup>1</sup> worden de modules beschermd door een vaste stalen **dakstructuur** die in een latere fase door een **afdekking** wordt vervangen.

Aanleveren van **monolieten** gebeurt vanaf de **IPM**, via een **spoorlijn** die de IPM verbindt met de bergingsinrichting via een corridor. De IPM zal uitgebaat worden door Belgoprocess. De monolieten

<sup>1</sup> Zie paragraaf 8.2.2 voor een beschrijving van de periodes en fasen in de levensloop van de bergingsinrichting.

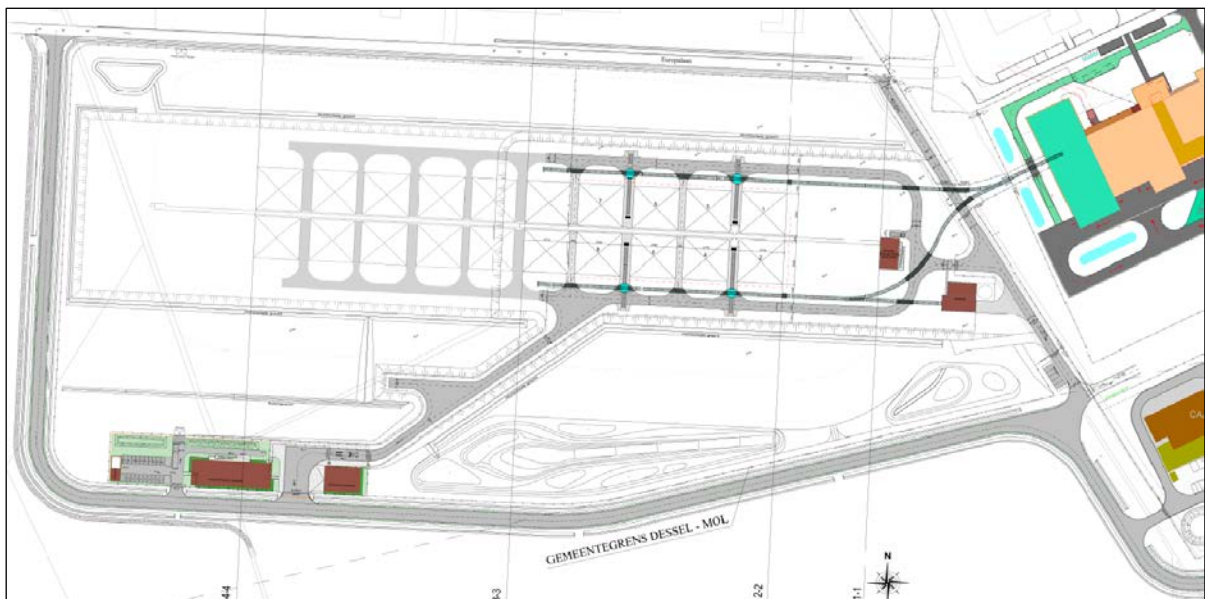
worden één per één getransporteerd door middel van een **trolley**. Zodra de trolley gepositioneerd is tussen de modules wordt de monoliet opgepikt door één van de twee rolbruggen en wordt deze overgebracht naar zijn juiste positie in één van de modules. Een specifiek ontworpen **grijper** wordt voor dit doel ingezet. Vier modules zullen gelijktijdig en stapsgewijs worden gevuld. Om te voldoen aan het ALARA-principe wordt een **afschermingsplaat** op de bovenste monoliet van elke stapel geplaatst.

De bergingsinrichting omvat eveneens de volgende gebouwen:

- Een **toegangscluster** bestaande uit een administratief gebouw en twee technische gebouwen
- Een **werkplaats/garage**
- Twee identieke **WCBs** (Water Collecting Building of Watercollectiegebouw) ter hoogte van de ingang van elk van de twee centrale inspectiegalerijen. Het WCB herbergt de tanks waarmee het drainagesysteem is verbonden. Elke module is immers voorzien van een **drainagesysteem**. Tijdens de sluitingsfase (fase II) wordt het grootste deel van het drainagesysteem ontmanteld. Een deel blijft echter achter en vormt mee het anti-badkuipsysteem.

**Infiltratiebekkens en -sloten** zorgen voor lokale infiltratie van meteorisch water dat op de structuren en andere ondoorlatende oppervlakken op de site neervalt.

Op het ogenblik dat de eerste 20 modules zijn gerealiseerd, beslaat de site ~13 ha. In de eindconfiguratie (34 modules) verhoogt dit tot ~25 ha.



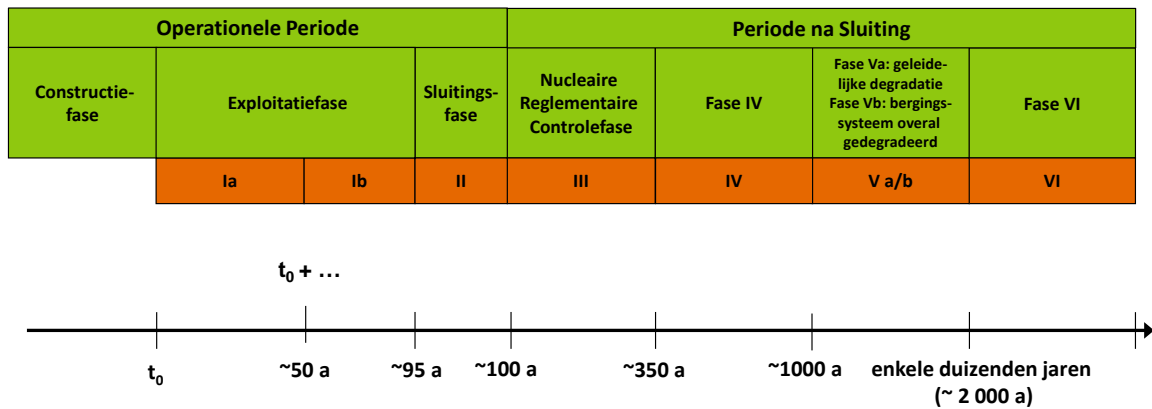
Figuur 8-3: Modules 1 tot en met 20: beeld van de scheiding tussen de operationele zone en de werfzone (uittreksel van plan 401\_ALL\_GCPH\_001, zie bijlage 1 aan het veiligheidsrapport).



Figuur 8-4: Schets van de bergingsinstallatie waarbij een deel van de componenten weggelaten is om de opbouw van de modules, het vast stalen dak en de manutentiewerktuigen duidelijker weer te geven.

### 8.2.2 Periodes en fases in de levensloop van de bergingsinrichting

Verschillende periodes en fases zijn gedefinieerd in de levensloop van de installatie. Dit is uitgewerkt in HS02, §2.8.1. De vooropgestelde tijdsduur van de fases wordt weergegeven in Figuur 8-5. De vermelde afkortingen in deze figuur zullen verder in dit document worden gebruikt.



Figuur 8-5: Periodes en fases in het leven van de bergingsinrichting.

## 8.3 Input voor het ontwerp en de ontwerpvereisten

### 8.3.1 Ontwerpinputs en -vereisten

HS02 bespreekt in §2.7 de ontwerp- en realisatiestrategie. Deze legt de benadering vast om toe te laten een veilig, performant en robuust bergingssysteem te ontwerpen en te realiseren.

Meer specifiek wordt het proces van de ontwikkeling van het ontwerp besproken. In een eerste stap worden ontwerpinputs beschreven waarvan in een tweede stap ontwerpvereisten afgeleid worden. Enkele belangrijke bronnen waaruit ontwerpinputs afgeleid worden zijn het veiligheidsconcept en het regelgevende kader. Voor een overzicht van de ontwerpinputs en hun oorsprong wordt verwezen naar §2.7.7 en bijlage 2-2 (tabel 2-20) van HS02.

Bijlage 2 aan dit hoofdstuk geeft in tabelvorm een overzicht welke ontwerpvereisten van toepassing zijn op welke SSC's.

Voor elke SSC die belangrijk is voor de veiligheid zijn in §8.5 per groep van SSC's passende codes en normen bepaald, rekening houdend 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 (zie §8.7 voor een overzicht). Met de conformiteitscriteria kan bij realisatie van de SSC's afgetoetst worden dat aan de ontwerpvereisten voldaan is; het zijn typische kenmerken die moeten worden geverifieerd om redelijke zekerheid te verschaffen dat het item zijn beoogde functie zal vervullen.

### 8.3.2 Ontwerpbasis voorvallen

#### 8.3.2.1 Ontwerpbasis voorvallen afgeleid op basis van leidraad [R8-2]

Om te bepalen welke voorvallen met welke grootte beschouwd moeten worden bij het ontwerp werd een analyse uitgevoerd op basis van de door FANC geformuleerde leidraad over de beschouwing van gebeurtenissen met een externe oorsprong bij het ontwerp van de bergingsinstallatie [R8-2]. De leidraad werd systematisch overlopen en het resultaat van deze analyse is opgenomen in Bijlage 3 aan dit hoofdstuk. Er wordt in de analyse voornamelijk verwezen naar informatie uit [R8-31], [R8-35] en [OD-233]; waar nodig volgt bijkomende informatie. Er wordt een justificatie gegeven van de beschouwde ontwerpbasis voorvallen en hun grootte. Tabel 8-2 vat de resulterende ontwerpbasis voorvallen samen, voor de verantwoording en afleiding wordt verwezen naar Bijlage 3.

OPMERKING: conform §2.2 van de leidraad worden onvrijwillig menselijk indringen, vrijwillig menselijk indringen, moedwillige beschadigingen, terroristische aanslagen, aardbevingen<sup>2</sup> en trage externe processen in Bijlage 3 niet beschouwd.

Gedetailleerde informatie omtrent de probabilmiteit en de probabilmiteit-grootte relatie van de ontwerpbasis voorvallen 1) tot en met 4) kan in [OD-233] terugvonden worden. De beschouwde gebeurtenis om het drainagesysteem te dimensioneren is een 3-daagse regenperiode met een intensiteit die verband houdt met een terugkeerperiode van 10 jaar. Het infiltratiebekken is voldoende groot voor een regenval met een terugkeerperiode van 100 jaar.

---

<sup>2</sup> Voor de bepaling van de grootte van de ontwerpaardbevingen werd de leidraad beschouwd die specifiek hiervoor opgesteld werd door FANC (zie HS04, §4.5.4.1.1). Zie ook §8.3.2.2.

Voor ontwerpbasis voorval 5) wordt verwezen naar Hoofdstuk 4 van het veiligheidsrapport dat de te verwachten omstandigheden op de site met betrekking tot overstromingen documenteert (zie §4.6.1.3 in HS04). Voor zowel het huidige klimaat als het hoge klimaatscenario is de overstromingsfrequentie van de site kleiner dan  $10^{-7}$  per jaar. Het maximaal gesimuleerde waterpeil in de buurt van de site veroorzaakt door een dijkbreuk komt overeen met 25,2 mTAW. Dit is aanzienlijk lager dan het niveau van de installaties. De omhullingskromme van het overstromingsrisico voor een jaarlijkse probabilliteit van  $10^{-7}$  resulteert in een waarde onder 24,8 mTAW.

Tabel 8-2: Samenvatting van de ontwerpbasis voorvallen zoals afgeleid in Bijlage 3.

| Ontwerpbasis voorval    | Parameter   | Waarde  | Periode <sup>3</sup> |
|-------------------------|---|---|----------------------|
| 1. Neerslag             | Regenval  |   | OP                   |
|                         | a) Drainagesysteem  | a) 80 mm                                      |                      |
|                         | b) Infiltratiebekken  | b) Terugkeerperiode 100a                      |                      |
|                         | Sneeuw (dakbelasting)   | 0,50 kN/m <sup>2</sup>                        | OP                   |
| 2. Wind                 | Pieksnelheidsdruk ( $q_p$ )                                       | 1,232 kN/m <sup>2</sup>                       | OP                   |
| 3. Tornado              | Pieksnelheidsdruk ( $q_p$ )                                       | 3,516 kN/m <sup>2</sup>                       | OP                   |
| 4. Extreme temperaturen | Buitenlucht (in de schaduw), $T_{min}$<br>$/T_{max}$              | -20/+40 °C                                    | OP                   |
|                         | Verskil tussen staal en beton,<br>$\Delta T_{min}/\Delta T_{max}$ | -10/+10 °C                                    | OP                   |
| 5. Dijkbreuk            | Maximumpeil   | 25,2 mTAW                                     | OP, LT               |
| 6. Natuurlijke brand    | Maximale warmtestraling   | 15 kW/m <sup>2</sup>                          | OP                   |
| 7. Flora en fauna       | Voorkomen   | nvt   | OP, LT               |
|                         |   | Preventie → anti-intrusiebarrière installeren |                      |

<sup>3</sup> OP = ontwerpbasisvoorval voor de operationele periode; LT = ontwerpbasisvoorval voor de lange termijn.



OPMERKING: de ontwerpkeuze van een SFP rolbrug sluit de mogelijkheid van de val van een monoliet uit wanneer deze verplaatst wordt door de rolbrug. Het vermijden van een kantelincident bij het losmaken van een monoliet van de rolbrug wordt opgevangen door een gepast ontwerp van de controle en bediening van de manutentiewerktuigen.

### 8.3.2.2 Aardbevingen

Het bergingssysteem is ontworpen om aan een referentie-aardbeving te weerstaan. Hoofdstuk 4 van het veiligheidsrapport documenteert de te verwachten omstandigheden op de site met betrekking tot seismische activiteit (zie §4.5.4 in HS04). Er werden drie aardbevingsniveaus gedefinieerd:

- een DBE (ontwerpaardbeving) tijdens de operationele fase Ia (DBE50). De bergingsstructuur wordt ontworpen om een dergelijke gebeurtenis te weerstaan en het ontwerp maakt een veilige stop van de uitbating mogelijk (bijvoorbeeld de rolbrug zal zijn lading niet verliezen) zodat mogelijke schade kan hersteld worden (bijvoorbeeld plastische vervormingen van de tijdelijke constructies zijn toegelaten). Deze DBE werd gedefinieerd, rekening houdend met een probabilliteit van voorkomen van 4% (overschrijdingskans) in een periode van 50 jaar<sup>4</sup>. Dit komt overeen met een terugkeerperiode van 1225 jaar. De ontwerp oppervlakte respons spectra zijn gegeven in §4.5.4.4.2 in HS04. De *Peak Ground Acceleration* (PGA) bedraagt 0,090 g.
- een DBE tot het einde van de nucleaire reglementaire controlefase, dit wil zeggen van fase Ib tot en met fase III (DBE350). De bergingsstructuur is ontworpen om weerstand te bieden aan een dergelijke gebeurtenis. Deze DBE werd gedefinieerd, rekening houdend met een probabilliteit van voorkomen van 4% (overschrijdingskans) in een periode van 350 jaar. Dit komt overeen met een terugkeerperiode van 8575 jaar. De ontwerp oppervlakte respons spectra zijn gegeven in §4.5.4.4.2 in HS04. De PGA bedraagt 0,240 g.
- een BDBE (grotere dan ontwerpaardbeving) werd bepaald op basis van een terugkeerperiode van 20000 jaar. De ontwerp oppervlakte respons spectra zijn gegeven in §4.5.4.4.2 in HS04. De PGA is 0,350 g.

Naast de dimensionering van de structuur voor een DBE, werd een liquefactie-analyse uitgevoerd. Zie hiervoor §8.3.3.3 en [OD-179] voor de gedetailleerde behandeling.

## 8.3.3 Verificatie stabiliteit van de installaties

### 8.3.3.1 Draagkracht

Zie §8.5.4.3.

---

<sup>4</sup> De FANC-richtlijn spreekt over een periode gelijk aan de operationele fase (~100 jaar). Er vindt echter een belangrijke verandering van configuratie plaats na ~50 jaar (verwijdering van het vast dak en plaatsing van de afdekking). Deze is bepalend voor de te beschouwen levensduur en dus ook voor de bepaling van de ontwerpaardbeving voor deze configuratie.

### 8.3.3.2 Zettingen

#### Doelstelling

Zettingen zijn een specifiek ontwerpaspect, waarmee op iteratieve wijze rekening gehouden wordt voor de bepaling van de initiële hellingen van de inspectiegalerijen en het drainagesysteem, het scharniersysteem van de stalen structuur, de hellingen van de rolbrug en de dikte van de anti-capillaire barrière. De studie van de zettingen is in detail beschreven in [OD-120]. Het doel van deze studie is een volledige evaluatie van de zettingen van de bergingsinstallatie: tijdens de constructiefase, de exploitatiefase en de sluitingsfase.

De totale zettingen van de berging zullen het grootst zijn na de installatie van de afdekking en de grootte van deze zettingen is belangrijk voor het bepalen van het algemene niveau van de bergingsite. Vervolgens moet ook rekening gehouden worden met differentiële zettingen tussen verschillende elementen. Een nauwkeurige schatting van deze zettingen is essentieel. Meerdere componenten van de installatie, zoals onder andere de rolbrug, het stalen dak en de inspectiegalerij, zijn gevoelig zijn hiervoor. De zettingen spelen bijgevolg een belangrijke rol in het ontwerp van de berging.

#### Methode

Om tot een precieze zettingsberekening te komen, werd gebruik gemaakt van de eindige elementen software Plaxis 3D. Deze software werd specifiek ontwikkeld voor de geotechnische analyse van vervormingen en stabiliteit van grondstructuren. Door het invoeren van grondlagen, structuren en belastingen creëert de gebruiker een 3D model. Vervolgens kunnen verschillende belastingsstappen toegepast worden op dit model en de resulterende vervormingen op elke locatie in het 3D model kunnen geëvalueerd worden. Plaxis 3D werd voor deze toepassing geselecteerd omdat het over een gespecialiseerd materiaalmodel beschikt dat uitermate geschikt is voor de zettingsberekening op de bergingsite, namelijk het “*Hardening Soil with Small Strain Stiffness (HSS)*” model. Meer informatie staat vermeld in [R8-3].

In het model van de bergingsinstallatie wordt enkel de eerste tumulus beschouwd, aangezien deze door het grotere aantal bergingsmodulus de meeste zettingen zal genereren. De symmetrie van de installatie laat toe om slechts één rij van modules op te nemen in het model. Dit verkleint de nodige rekentijd en geheugencapaciteit. De funderingen, modules, inspectiegalerij en afdekking worden mee opgenomen in het model (Figuur 8-6 en Figuur 8-7). De (sub)eenheden van de ondergrond worden voorgesteld als horizontale lagen. De dieptes en diktes van deze lagen werden bepaald op basis van de geotechnische gegevens, voornamelijk uit de vele CPT's ter hoogte van de eerste tumulus tijdens de terreincampagne van 2010. Voor de keuze van de invoerparameters werd gebruik gemaakt van de resultaten van de zettingsproef. Er werd dan ook gewerkt met twee modellen, één voor de berekeningen in uiterste grenstoestand (UGT in het Nederlands, ULS in het Engels) en één voor deze in gebruiksgrenstoestand (GGT in het Nederlands, SLS in het Engels).

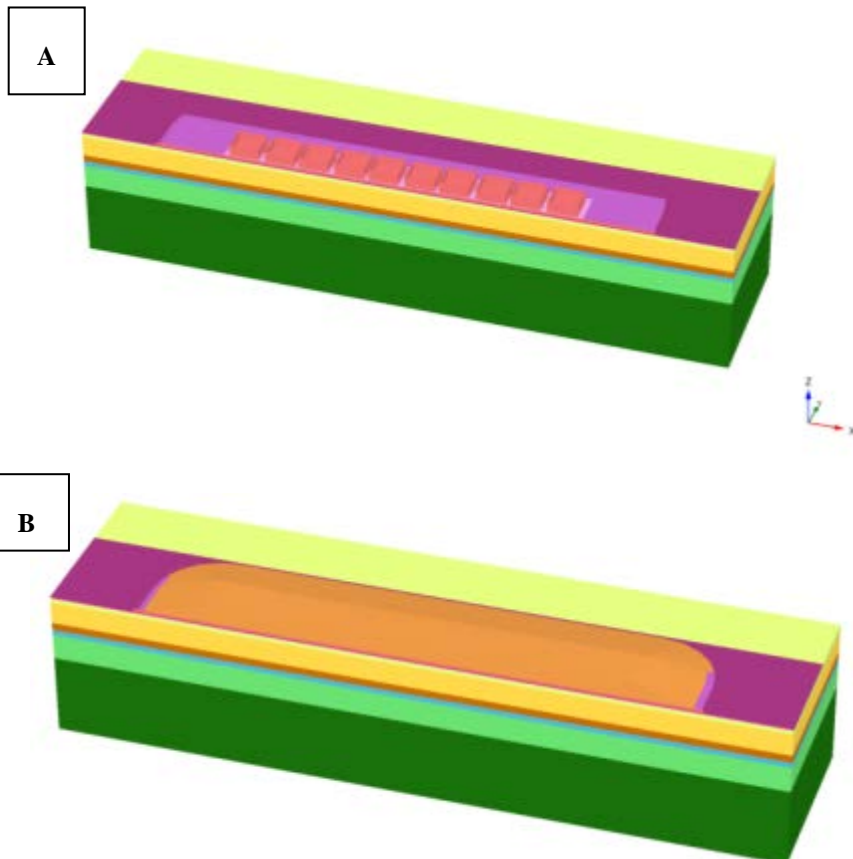
Voor elke belastingsfase die in werkelijkheid zal uitgevoerd worden, kan in het Plaxis 3D model een berekeningsstap voorzien worden. Sommige belastingsfasen worden gecombineerd in één berekeningsfase. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer de acties bijna gelijktijdig uitgevoerd worden (zoals de constructie van de modules en van de inspectiegalerij) en/of wanneer de belasting bijna geen invloed heeft op de zettingen (zoals de installatie van het stalen dak).

Bij de bepaling van de belastingsstappen moet rekening gehouden worden met de fasering van de constructie. Een mogelijke fasering die hier in de studie van de zettingen beschouwd is, bestaat erin de



modules in twee aparte fasen te bouwen. In een eerste fase worden dan de tien modules het dichtst bij de IPM gebouwd (zone 1), terwijl de volgende tien modules (zone 2) pas worden gebouwd tijdens het vullen van de eerste vier modules van zone 1. De volgende berekeningsfasen worden beschouwd:

1. Verwijderen van teelaarde en verstoorde zandlaag in zone 1;
2. Aanleg van de funderingen<sup>5</sup> in zone 1;
3. Bouw van de eerste tien modules en de inspectiegalerij in zone 1;
4. Verwijderen van teelaarde en verstoorde zandlaag en aanleg van de funderingen in zone 2;
5. Vullen van de eerste set van 4 modules en bouw van de tien modules en de inspectiegalerij in zone 2;
6. Vullen van de tweede set van 4 modules;
7. Vullen van de derde set van 4 modules;
8. Vullen van de vierde set van 4 modules;
9. Vullen van de vijfde set van 4 modules;
10. Plaatsing van de afdekking.



Figuur 8-6: Plaxis 3D model van de eerste tumulus (A: lege modules, B: met afdekking).

<sup>5</sup> Dit omvat verdicht zand, grindlaag, zand-cement ophoging en zand ophoging zoals aangeduid op Figuur 8-7. Het verdicht zand is nadien vervangen door verdicht zandbentoniet, waardoor er een extra uniforme zetting van 1 tot 2 mm zal optreden (zie [OD-166], §4.3.2.5).

Sommige van deze fasen zijn van belang voor de spanningsverdeling in de ondergrond, maar niet voor het zettingsgedrag van de modules. Dit is bijvoorbeeld het geval voor stappen 1 en 2 (modules dan nog niet aanwezig) en daarom worden hierna de zettingen terug op nul gebracht. Stap 4 is niet van belang voor de modules van zone 2 (deze zijn dan nog niet aanwezig), maar wel voor deze van zone 1. Daarom wordt vanaf belastingsstap 5 gewerkt met twee modellen, één voor het bepalen van de zettingen in zone 1 en één voor zone 2. Enkel in dit laatste worden de zettingen op nul gezet na fase 4.

De metingen en de interpretatie van de zettingsproef toonden aan dat de zettingen bijna onmiddellijk na het aanleggen van de belasting volledig optreden (§4.4.5 in [OD-188]). Het tijdseffect werd bijgevolg niet verder in rekening gebracht in de zettingsberekening.

**Figuur 8-7: Verticale doorsnede van het bovenste gedeelte van het Plaxis 3D model van de berging.**

De zettingsberekeningen werden vervolgens aangevuld met een evaluatie van het zettingsgedrag tijdens de sluitingsfase (i.e. na de opvulling van de inspectieruimtes en de inspectiegalerij), waarbij het effect op de betonnen structuur alsook op de afdekking werd bekeken (Annex 6 in [OD-120]).

Ook de zettingen ten gevolge van eventuele veranderingen in de watertafel werden bestudeerd (§4.3 in [OD-120]). Concreet werd het geval beschouwd van een verlaging van de grondwatertafel met 2,1 m t.o.v. het niveau gebruikt in de andere berekeningen. Dit nieuwe niveau werd conservatief gekozen als 1 meter lager dan het laagste niveau dat ooit op de site werd opgemeten (zie Figuur 15 in [OD-086]) en wordt als omhullend beschouwd voor toekomstige grondwaterverlagingen door bv. klimaatverandering. Werkzaamheden vlak aan de grenzen van de site die gepaard zouden gaan met grootschalige, diepe en ondoordachte grondwatertafelverlagingen worden vermeden door de geldende beperkingen op het grondgebruik in de nabijheid van de site. Bovendien blijkt uit verkennende berekeningen dat de zone waar een belangrijke grondwatertafelverlaging (i.e. > 2,1 m) optreedt ten gevolge van een pompput, beperkt is tot enkele tientallen meters.

## **Resultaten**

De zettingen van de modules werden bestudeerd in uiterste- en in gebruiksgrenstoestand voor elk van de belastingsstappen.

In Figuur 8-8 worden deze zettingen voorgesteld volgens de longitudinale as van de berging ter hoogte van de muren van de modules (muren op Y= 2 m, vlak naast de inspectiegalerij). Hieruit blijkt dat na het vullen van alle bergingsmodules met het afval een maximale totale zetting van 15,3 cm in UGT en 11,2 cm in GGT optreedt. Volgens de longitudinale as wordt een maximale differentiële zetting van 3,3 cm (UGT) en 2,1 cm (GGT) geobserveerd bij de buitenste modules over hun lengte van 27,4 m. Bij het uitzetten van de zettingen volgens de transversale as van de berging, bleek dat een maximale differentiële zetting van 3,5 cm (UGT) en 2,2 cm (GGT) verkregen werd over de breedte van 25,4 m naar de inspectiegalerij toe (Tabel 8-3). Deze differentiële zettingen zullen zich niet manifesteren als een plotse sprong of breuk in de ondergrond, maar zullen over de gehele lengte/breedte van de module optreden, waardoor deze als een stijf geheel een beperkte kanteling (grootteorde ~1 mm/m) zal ondergaan.

Tabel 8-3: Overzicht van de berekende zettingen.

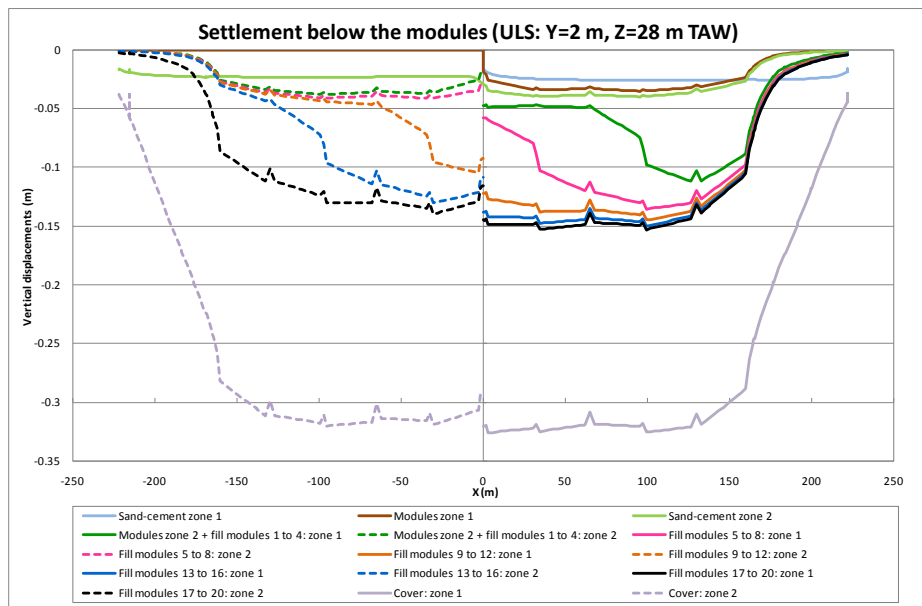
|                    | Totale zetting [cm] |      | Differentiële zetting [cm] volgens longitudinale as |     | Differentiële zetting [cm] volgens transversale as |     |
|--------------------|---------------------|------|---|-----|--|-----|
|                    | UGT                 | GGT  | UGT   | GGT | UGT  | GGT |
| Na vullen modules  | 15,3                | 11,2 | 3,3   | 2,1 | 3,5  | 2,2 |
| Na afdekking       | 32,6                | 25,2 | 3,1   | 2,0 | 5,1  | 2,7 |
| Gevuld/niet gevuld |                     |      | 2,4   |     |  |     |
| Galerij/module     |                     |      | 0,7   |     |  |     |

Na de installatie van de afdekking zetten de modules in totaal ongeveer 32,6 cm in UGT en 25,2 cm in GGT. De differentiële zettingen volgens de longitudinale as dalen lichtjes door het aanbrengen van de bovenbelasting. De differentiële zettingen volgens de transversale as stijgen echter tot 5,1 cm in UGT en 2,7 cm in GGT over de breedte van 25,4 m naar de inspectiegalerij toe. Dit is te wijten aan het feit dat de afdekking de grootste dikte heeft boven het midden van de twee rijen bergingsmodules.

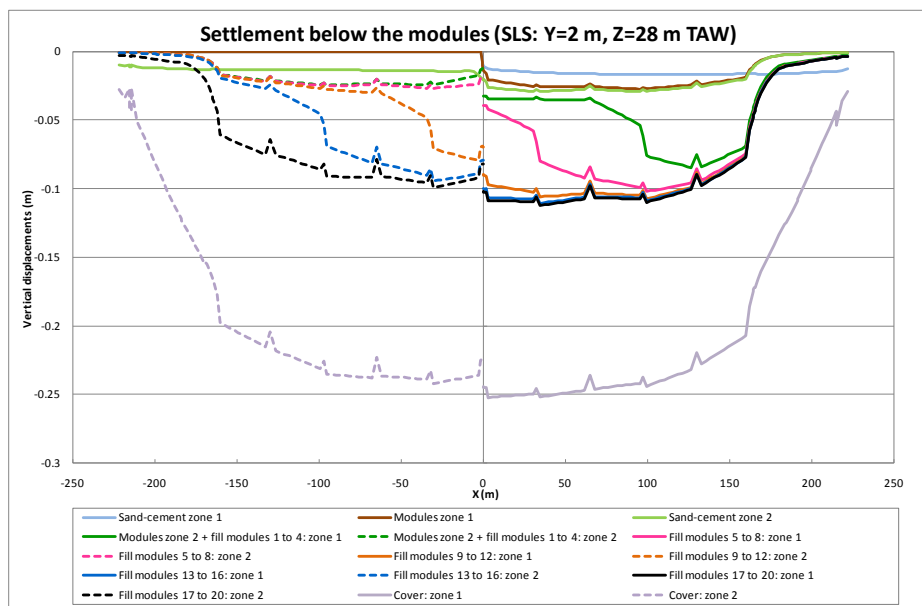
De bijkomende zettingen ten gevolge van een verlaging van de grondwatertafel met 2,1 m t.o.v. het niveau gebruikt in de andere berekeningen werd geverifieerd. Uit de berekening blijkt dat de bijkomende (uniforme) zetting beperkt is tot iets meer dan 1 cm. De bijkomende differentiële zetting bedraagt maximaal 1 mm. Het effect hiervan op de in het beton en de voegen gegenereerde krachten is verwaarloosbaar.

Ook werden de zettingen na opvulling van de inspectieruimtes en van de inspectiegalerij berekend. Uit deze studie komt duidelijk naar voor dat het opvullen van de inspectieruimtes en –galerij slechts een beperkte invloed heeft op de zettingen (bijkomende totale zetting van 2 tot 5 mm): de bijkomende belasting door het opvullen is immers zeer beperkt in vergelijking met de reeds aanwezige belasting (modules + afdekking). Door het opvullen van de inspectieruimte van één welbepaalde module zal een vrij uniforme bijkomende zetting van deze module verkregen worden: de bijkomende differentiële zetting

bedraagt maximaal 1 mm over de volledige lengte /breedte van de module. Dit betekent dat er bijna geen bijkomende krachten worden gegenereerd in het beton van deze module. De mogelijke bijkomende differentiële zetting tussen de module met opgevulde inspectieruimte en de nog op te vullen inspectiegalerij zal eveneens beperkt zijn, aangezien uit de zettingsberekeningen blijkt dat de galerij de neiging heeft om de zetting van de modules te volgen. Ook de spanningstoestand in de lagen van de afdekking zal slechts minimaal beïnvloed worden door deze bijkomende zetting en er wordt bijgevolg geen invloed verwacht op de integriteit van de verschillende lagen van de afdekking, noch op de globale stabiliteit ervan.



A



B

Figuur 8-8: Zettingen van de bergingsinstallatie na de verschillende berekeningsfasen (A: UGT berekening, B: GGT berekening).

Het 3D model werd daarnaast ook gebruikt om de differentiële zetting te evalueren tussen een gevulde module en een naburige lege module. Zowel in UGT als GGT bleek dit ongeveer 2,4 cm te zijn over een afstand van 4 m. Deze parameter is belangrijk, aangezien hij in rekening moet gebracht worden in het ontwerp van de rolbrug en van het stalen dak. De weg die in deze gang voorzien is, zal uitgevoerd worden als een steenslagverharding. Deze soepele verharding zal de differentiële zettingen volgen.

Het 3D model laat ook toe om de (differentiële) zettingen van de inspectiegalerij te bestuderen. In eerste instantie werd de helling ervan bestudeerd tijdens de verschillende fasen. Het bleek dat de helling in het grootste deel van de galerij tijdens alle fasen maximaal 0,2 % bedraagt. Echter, op ongeveer 5 m afstand van de randen van de buitenste modules, werden hellingen berekend van 0,56 % (UGT) en 0,40 % (GGT). Dit speelt een rol in het ontwerp van de galerij, aangezien hier gravitaire afwatering voorzien is. Ook werden deze zettingen als uitgangspunt gebruikt bij de structurele dimensionering van de galerij (betondikte, wapening), rekening houdend met de nodige veiligheidscoëfficiënten om een eventueel resterende onzekerheid af te dekken.

Vervolgens werd ook nagegaan wat het verschil in zetting is tussen de galerij en de modules (leeg of gevuld) ter hoogte van de verbindingen met de inspectieruimtes onder de modules. Een maximale waarde van 0,7 cm werd verkregen, wat kan opgevangen worden door het toevoegen van zettingsvoegen in het ontwerp.

Er werd nagegaan dat de grondverbetering (bentoniet) geen nadelig effect heeft op de mechanische eigenschappen (zie HS05, §5.16.1): er is namelijk quasi geen invloed op de cohesie ( $c$ ) en de wrijvingshoek ( $\phi$ ) en de samendrukkingsmodulus daalt 10 à 30 procent wat slechts 1 à 2 mm extra uniforme zetting vertegenwoordigt.

Tenslotte werd ook voor elke module de verticale veerstijfheid van de onderlaag bepaald tijdens elke belastingsstap. De resultaten van deze analyse worden vervolgens gebruikt in de structurele ontwerpberekeningen van de modules.

### **Invloed van de variabiliteit op de zettingen**

De geotechnische parameters die aan de verschillende lagen toegekend werden zijn in hoofdzaak bepaald uit andere proeven dan CPT's (§6 van [OD-086]). Aangezien de CPT-campagne uit 2010 echter uitgevoerd werd volgens een dicht raster op de bergingssite, kan deze wel gebruikt worden om een idee te krijgen van de variabiliteit van bepaalde grondparameters en de invloed daarvan op de zettingen. In [R8-40] wordt de invloed van de variabiliteit op deze wijze nagegaan en hieruit blijkt dat zowel het effect van variabiliteit van de laagdiktes als het effect van variabiliteit van materiaalparameters beperkt en aanvaardbaar is.

#### **8.3.3.3 Liquefactie**

Het optreden van liquefactie kan door een lokaal verlies aan draagkracht en/of door vervormingen van de ondergrond (zettingen of zijdelingse uitvloeiing) grootschalige deformaties veroorzaken aan structuren. Naast postliquefactiezettingen in verzadigde gronden kunnen ook dynamische zettingen optreden in gedeeltelijk verzadigde of droge gronden. Beide zijn een gevolg van aardbevingsgerelateerde trillingen.

De vergelijking van de weerstand van de grond met cyclische belastingen die door de aardbevingen geïnduceerd zijn, werd verricht op een deterministische alsook een probabilistische manier en wordt beschreven in [OD-179]. In beide gevallen werden een aantal correcties toegepast op de proefresultaten

van de grond (correctie voor dunne lagen, correctie voor fijne fractie ...) en op de waarde van *Cyclic Resistance Ratio* om bepaalde specifieke condities in rekening te brengen (eigenlijke grootte van de aardbevingen, de aanwezigheid van belasting aan de oppervlakte ...). De beschouwde aardbevingen zijn de vooraf gedefinieerde referentie-aardbevingen (zie §8.3.2.2).

De resultaten, bekomen door de deterministische en de probabilistische aanpak, zijn volledig vergelijkbaar. De berekeningen tonen aan dat, hoewel het risico op liquefactie niet nul is, ondiepe liquefactie niet zal optreden onder de eerste tumulus voor de vooropgestelde retourperiodes. De kans op het voorkomen van diepe liquefactie ter hoogte van de berging is groter, maar dit heeft geen impact op de structuren aan de oppervlakte. Dynamische zettingen (postliquefactie en in de niet-verzadigde gronden) zijn verwaarloosbaar.

## 8.4 Algemene ontwerp- en constructieregels

Gedetailleerde regels voor het ontwerp en de constructie van elke component worden vermeld in de paragrafen 8.5 en 8.6. Deze paragraaf beperkt zich tot een algemene beschrijving van de gebruikte codes.

### 8.4.1 Ontwerp

Het ontwerp is gebaseerd op de **Eurocodes** en hun nationale bijlagen (ANB). De Eurocodes zijn een reeks van Europese normen voor de bouwwereld, ontwikkeld door de Europese Commissie voor Standaardisatie. Zij vormen een geheel van gemeenschappelijke Europese structurele ontwerpcodes voor burgerlijke bouwkunde en behandelen:

- Grondslag voor constructief ontwerp (EN 1990);
- Belastingen op constructies (EN 1991);
- Ontwerp en berekening van betonconstructies (EN 1992);
- Ontwerp en berekening van staalconstructies (EN 1993);
- Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies (EN1994);
- Ontwerp en berekening van houtconstructies (EN 1995)
- Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk (EN 1996) en aluminium constructies (EN 1999);
- Geotechnisch ontwerp (EN 1997); en
- Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies (EN 1998).

De volgende elementen hebben geleid tot de keuze voor de Eurocodes:

- Het toepassen van een uniform en samenhangend geheel van normen voor het hele ontwerp maakt het mogelijk om interfaces tussen verschillende normen voor verschillende civiele constructies (modules) en de stalen dakconstructie te beheersen. In het geval men bijvoorbeeld voor de bergingsmodules een andere norm (zoals bijvoorbeeld ACI 349) zou gebruiken, is bovenstaande niet het geval. Er is één uitzondering, met name de rolbrug. Hier wordt geopteerd voor een SFP-ontwerp (*Single Failure Proof*) - een ontwerp dat bestand is tegen enkelvoudig falen – zodat naast de Eurocodes ook de bepalingen uit NUREG 0554 [R8-39] van toepassing zijn.
- Een bergingsinstallatie is een passieve installatie en is wat dat betreft dus heel anders dan bijvoorbeeld een kerncentrale. In het geval van extreme gebeurtenissen kan de uitbating van de installatie snel worden gestopt op een veilige manier; er zijn geen dringende interventies nodig om de veiligheid van mens en milieu te waarborgen. Het gebruik van een 'nucleaire' norm is dus niet noodzakelijk wat de operationele aspecten van het ontwerp betreft.
- De aannemers en leveranciers die in aanmerking komen om bij te dragen aan de bouw van de bergingsinrichting zijn gewend om met de Eurocodes te werken. Bovendien is het gebruik van de Eurocodes voor openbare werken en diensten aanbevolen door de Europese Commissie [R8-1].
- De eigenschappen van de Europese bouwmaterialen (bijv. wapeningsijzer) stemmen beter overeen met de Eurocodes dan met niet-Europese codes zoals bijvoorbeeld de ACI-normen.

- De beperking van berekende maximale scheurwijdtes is opgenomen in de Eurocodes, iets wat bijvoorbeeld niet het geval is in ACI 349. In ACI 349 is er enkel een onrechtstreekse beperking van de scheurwijdtes, bijvoorbeeld door met een beperkte staalsterkte te rekenen.
- Voor een van de meest bepalende belastingsgevallen, zijnde aardbevingen, is het belangrijk op te merken dat er geen *behaviour factor*<sup>6</sup> toegepast werd bij de seismische analyse, hoewel dit door de Eurocode toegestaan (maar niet verplicht) is. Dit elimineert het belangrijkste aandachtspunt dat in [R8-36] geïdentificeerd werd bij de vergelijking van de aanpak van aardbevingen in het ontwerp in klassieke bouwkundige normen (zoals de Eurocodes) enerzijds en 'nucleaire' normen (zoals ACI 349) anderzijds.

Om de langetermijnduurzaamheidsaspecten af te dekken werden specifieke vereisten toegevoegd waar het nodig/mogelijk is, om verdere optimalisatie van de prestaties van het systeem door te voeren en om expliciet rekening te houden met de radiologische veiligheidsaspecten op de lange termijn die niet worden gedekt door de Eurocodes of andere ontwerpcodes.

Ten indicatieve titel werd een vergelijking gemaakt tussen wapening bepaald volgens de Eurocode en volgens ACI 349 (zie §8.5.1.5).

#### 8.4.2 Constructie

De van toepassing zijnde bouwnormen en wettelijke voorschriften zullen worden uitgewerkt voor de aanbestedingsprocedures. Paragraaf 8.8.2 behandelt de QA/QC-aspecten tijdens de constructie.

In het algemeen zullen specificaties voor civiele werken worden gebaseerd op de Eurocodes, hun nationale bijlagen en NBN normen (o.a. NBN EN 13670, NBN EN 206 en NBN A24-301) en op de bestaande standaard technische specificaties voor civiele werken.

Ze worden gewijzigd/aangevuld, door specifieke technische specificaties op basis van aanbevelingen of technische richtlijnen van de bevoegde organismen: bijvoorbeeld het WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf), COPRO (CONtrole van de PROducten), BGS (Belgian Geosynthetics Society), ...

De volgende regels zullen eveneens worden toegepast:

- De code inzake veiligheid en gezondheid van de werknemers op het werk en relevante Europese richtlijnen, laatste revisie inclusief recente updates, bijvoorbeeld:
  - ▶ Belgische: CODEX & ARAB/RGPT
  - ▶ Europese: 89/391/CEE; 92/57/CEE; 92/58/CEE.
- KB van 25 januari 2001 betreffende de tijdelijke en mobiele bouwplaatsen (en haar wijzigingen)
- AREI (Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties);
- ARBIS (Algemeen Reglement op de bescherming van de Bevolking, van de werknemers en van het leefmilieu tegen het gevaar van de Ioniserende Stralingen)

---

<sup>6</sup> Factor gebruikt voor ontwerp- en berekeningsdoeleinden om de krachten berekend in een lineaire berekening te reduceren, dit om rekening te houden met het niet-lineaire gedrag van een constructie, gerelateerd aan het materiaal, het constructief systeem en de ontwerpprocedures.



- CFR Deel 50 Bijlage B of 50 CQ A van het IAEA of ISO 9000 normen;
- De Belgische en internationale elektrotechnische richtlijnen.
  - ▶ Richtlijn 2006/42/EC: Machine richtlijn.
  - ▶ Richtlijn 2014/30/EU: Elektromagnetische compatibiliteit (EMC).
  - ▶ Richtlijn 2014/35/EU inzake het op de markt aanbieden van elektrisch materiaal bestemd voor gebruik binnen bepaalde spanningsgrenzen
  - ▶ Richtlijn 2000/367/CEE: Brandweerstand.

## 8.5 Ontwerp en beschrijving van de berging

Welke ontwerpvereisten van toepassing zijn op welke SSC's wordt opgelijst in Bijlage 2. De toepassing van het ontwerpproces (zie §2.7.2 van HS02) op SSC's die belangrijk zijn voor de veiligheid wordt in het vervolg van deze paragraaf gegeven. De subparagrafen komen overeen met de groepen SSC's:

- Module
- Monoliet (niet behandeld in dit hoofdstuk, zie HS07 en HS15)
- Afschermingsplaten
- Funderingen
- Inspectiegalerij, drainagesysteem en anti-badkuipsysteem (ABS)
- Vast stalen dak
- Afdekking
- Manutentiewerktuigen
- Diverse SSC's

Voor elk van deze groepen worden alle **ontwerpvereisten** die van toepassing zijn opgelijst en besproken; iedere subparagraaf start met de **specifieke normen en voorschriften**, toegepast bij het ontwerp van de SSC's. Daarna volgt het relevante extract uit Bijlage 2 evenals de **berekeningsmethode** en de beschouwde **belastingsgevallen**. Verder worden de **resultaten** en het **ontwerp** besproken. Tot slot, indien er **conformiteitscriteria** voortvloeien uit het ontwerpproces worden deze ook behandeld (zie ook §8.7 voor een overzicht).

Het huidige document bevat de belangrijkste informatie. De ondersteunende documenten die meer gedetailleerde informatie over bovenvermelde elementen bevatten worden opgelijst in Tabel 8-4.

**Tabel 8-4: Referentielijst voor gedetailleerde ontwerpgegevens.**

| Groep componenten  | referentie        |
|--|-------------------|
| Module   | OD-166, HS10      |
| Monolieten en afschermingsplaten                               | OD-131, 166, HS07 |
| Funderingen  | OD-166            |
| Inspectiegalerij, drainagesysteem en anti-badkuipsysteem (ABS) | OD-166            |
| Vast stalen dak  | OD-167            |
| Afdekking  | OD-65, 158, 161   |
| Manutentiewerktuigen   | OD-168            |
| Diverse SSC's  | OD-165            |

Voor de klassering van de SSC's wordt verwezen naar §2.8.7 van HS02.

NIRAS heeft een optimaliseringsoefening uitgevoerd op een aantal van de ontwerpkeuzes [OD-279]. Tijdens die oefening werd op systematische wijze de meest optimale technische optie voor bepaalde SSC's geselecteerd. §2.5.2 en §2.7.6 van HS02 bevatten meer details omtrent dit onderwerp.

## 8.5.1 Module

### 8.5.1.1 Specifieke ontwerpnormen en voorschriften

Normen met betrekking tot betonstructuren/producten voor gebruik in een nucleaire oppervlakteberging met een langetermijnsveiligheidsdoelstelling zijn onbestaande, maar mits enkele aanpassingen kunnen de algemene normen toegepast worden.

De specificaties worden bijgevolg opgelegd in de vorm van een Europese of Belgische norm en toepassingsreglementen, uitgebreid en/of aangepast in een specifiek document, daar waar nodig geacht door NIRAS.

- De volgende Europese normen en hun Belgische bijlagen worden gebruikt voor het ontwerp van de betonnen modules:
  - ▶ NBN EN 1990: 2002, Eurocode – Grondslagen van het constructief ontwerp en NBN EN 1990 ANB: 2007;
  - ▶ NBN EN 1992-1-1: 2005, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1.1: Algemene regels en regels voor gebouwen;
  - ▶ NBN EN 1998-1: 2005, Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen.
  - ▶ de Europese betonnorm met zijn Belgische uitbreiding: NBN EN 206-1:2001, NBN B 15-001:2004, het addendum NBN EN 206-1/A1:2004, het addendum NBN EN 206-1/A2:2005; NBN B12-109 (LA cement), NBN EN 197-1, NBN B12 108 (HSR cement), NBN EN 196-9.
  - ▶ de Europese uitvoeringsnorm NBN EN 13670:2010 met aanpassingen/aanvullingen specifiek voor de voorziene toepassing.
  - ▶ Het relateerde toepassingsreglement is TRA 550:V3.1:2011 “BENOR-certificatie van stortklaar beton”.
- Fib Model Code 2010 wordt gebruikt voor de berekening van de maximale scheurwijdte. De fib Model Code is een internationale standaard die gepubliceerd wordt door de internationale federatie voor structureel beton (fib) en wordt uitgewerkt door internationale experts terzake. Zo werd de vorige versie van de fib Model Code gebruikt als referentiedocument bij het opstellen van de Eurocode.

### 8.5.1.2 Ontwerpvereisten

De ontwerpvereisten van toepassing op de module zijn gegeven in Tabel 8-5 (hernomen uit Bijlage 2).

Tabel 8-5: Ontwerpvereisten van toepassing op de module

| SSC   | Ontwerpvereisten (DR) |     |     |   |     |     |     |     |     |     |   |   |     |     |     |     |     |     |    |    |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |      |      |      |   |  |
|---|-----------------------|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|------|------|------|---|--|
|   | 1.a                   | 1.b | 1.c | 3 | 5.a | 5.b | 5.f | 6.a | 6.b | 6.c | 7 | 8 | 9.a | 9.b | 9.c | 9.d | 9.g | 9.h | 10 | 11 | 12.a | 12.b | 12.c | 15.a | 16.b | 16.c | 17 | 20 | 21 | 22 | 25.a | 25.b | 25.d |   |  |
| 3. Module dak   |                       |     |     |   |     |     |     |     |     |     |   |   |     |     |     |     |     |     |    |    |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |      |      |      |   |  |
| Structurele topplaat  | X                     | X   |     |   |     |     |     |     |     |     |   |   | X   | X   | X   | X   | X   | X   | X  | X  | X    | X    | X    |      |      |      |    |    |    | X  | X    | X    |      |   |  |
| 4. Module midden  |                       |     |     |   |     |     |     |     |     |     |   |   |     |     |     |     |     |     |    |    |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |      |      |      |   |  |
| Modulewand  | X                     | X   |     |   | X   | X   |     |     | X   | X   | X |   | X   | X   | X   | X   | X   | X   | X  | X  | X    | X    | X    | X    |      |      |    |    |    |    | X    | X    | X    | X |  |
| Opvulmateriaal in tussenruimten                                     |                       | X   |     |   |     | X   |     |     |     |     |   |   |     |     |     |     |     |     | X  |    |      |      |      | X    |      |      |    |    |    | X  | X    |      |      | X |  |
| Betonnen sokkels  |                       | X   |     |   |     |     |     |     |     |     |   | X |     |     |     |     |     |     | X  |    |      |      | X    | X    |      |      |    | X  |    |    |      | X    | X    |   |  |
| 6. Modulebasis  |                       |     |     |   |     |     |     |     |     |     |   |   |     |     |     |     |     |     |    |    |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |      |      |      |   |  |
| Ondersteunende plaat  |                       | X   |     |   |     |     |     |     |     |     | X |   | X   | X   | X   | X   | X   | X   | X  | X  | X    | X    | X    |      |      | X    |    |    |    | X  | X    | X    | X    |   |  |
| Prefab element  |                       | X   |     |   |     |     |     |     |     |     |   |   | X   | X   | X   | X   | X   | X   | X  | X  | X    | X    | X    |      |      |      |    |    |    | X  | X    | X    | X    |   |  |
| Kolommen  |                       | X   |     |   |     |     |     |     |     |     |   |   | X   | X   | X   | X   | X   | X   | X  | X  | X    | X    | X    |      |      |      |    |    |    | X  | X    | X    |      |   |  |
| Inspectieruimte / Opgevulde inspectieruimte                         |                       |     | X   | X |     |     | X   |     |     |     | X |   | X   |     |     |     |     | X   |    |    |      |      |      |      |      | X    |    | X  | X  | X  |      |      |      | X |  |
| Afsluiting van openingen tussen inspectieruimte en inspectiegalerij |                       | X   | X   |   |     |     |     |     |     |     |   |   |     |     |     |     |     |     |    |    |      |      |      |      |      |      |    |    |    | X  | X    |      |      | X |  |
| Funderingsplaat   |                       | X   |     |   |     |     |     |     |     |     |   | X | X   | X   | X   | X   | X   | X   | X  | X  | X    | X    | X    |      |      | X    |    |    |    | X  | X    | X    | X    |   |  |

**DR1.a Over barrières beschikken om intrusie te voorkomen**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand*

De structurele topplaat en de modulewand zijn gemaakt van gewapend beton en verminderen bijgevolg de waarschijnlijkheid van onopzettelijke menselijke intrusie.

**DR1.b Weinig waardevolle materialen gebruiken**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, opvulmateriaal in tussenruimten, betonnen sokkels, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, afsluiting van de openingen tussen inspectieruimte en inspectiegalerij, funderingsplaat*

Alle elementen van de module zijn materialen op basis van cement en/of courante granulaten, die weinig waarde hebben voor een mogelijke indringer. Het staal van de wapening is potentieel attractief maar is nodig voor de stabiliteit.

**DR1.c Toegang tot de inspectieruimte beperken**

*Van toepassing op: inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte, afsluiting van de openingen tussen inspectieruimte en inspectiegalerij*

De opening van de inspectieruimte wordt tot aan de sluiting afgesloten door een plaat uit gewapend beton. Er zijn enkele openingen voorzien voor het drainagesysteem en de inspectierobot. De openingen worden beperkt tot maximaal 20 x 40 cm om de toegang te beperken.

Tijdens de sluiting worden de inspectieruimtes en de verbindingstunnels met de inspectiegalerij (alsook de inspectiegalerij zelf) opgevuld zodat de toegang definitief afgesloten is.

**DR3 Aanwezigheid van chemische retentie**

*Van toepassing op: inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte*

Chemische retentie op cement gebaseerde materialen gebeurt op volgende twee materialen [OD-038], [OD-107]:

- Uitgeharde cementpasta;
- Kalksteen (aggregaten, toeslagmaterialen, chemische toestand IV i.e. eindproduct van gehydrateerde cementpasta bij carbonatatie).

Het opvulmateriaal van de inspectieruimte moet bestaan uit minstens 19 gew% uitgeharde cementpasta (**Mod01**) (Coherent met de hypothesen van de veiligheidsevaluaties HS14, zie tabel 14-29 in

§14.4.3.7.7.3). Het conformiteitscriterium wordt geverifieerd door weging tijdens de aanmaak volgens de norm NBN EN 206-1 en door analyse (achteraf) op stalen.

De performantie is ook gerelateerd aan het volume van op cement gebaseerd materiaal, dus aan de dimensies. De opvulling van de inspectieruimte moet dus nagenoeg volledig zijn: de vereiste vulgraad bedraagt 98% (**Mod02**). Dit komt overeen met een gemiddelde open ruimte bovenaan van ~1 cm. Dit criterium zal tijdens de uitvoering gecontroleerd worden door meting van het volume van het ingepompte grout en door het verifiëren van de terugstroom uit de ontluuchtingsbuizen.

#### **DR5.a Lage effectieve hydraulische geleidbaarheid**

##### Van toepassing op: modulewand

De initiële hydraulische geleidbaarheid van de modulewand moet voldoende laag zijn om advectief transport door de matrix verwaarloosbaar te maken. Dit wordt bereikt door het gebruik van een gepaste betonsamenstelling. De samenstelling van het beton leidt tot een lage effectieve hydraulische geleidbaarheid, zoals blijkt uit de uitgevoerde permeabiliteitsmeting (§5.3.1.2.1 tot en met §5.3.1.2.5 van HS05).

De referentiesamenstelling van het gebruikte beton heeft een gepaste water/cement verhouding (door het gebruik van superplastificeerder) waardoor de porositeit (en de hydraulische geleidbaarheid) beperkt wordt.

Vandaag zijn er geen betrouwbare NDT-methoden die al dan niet rechtstreeks toelaten de permeabiliteit, of meer algemeen de duurzaamheid (*durability*), van een betonconstructie te meten. In opdracht van ONDRAF/NIRAS doet IETcc onderzoek in dit domein, specifiek voor deze nood: het inschatten van de duurzaamheid van een betonstructuur op niet destructieve wijze. Er kan echter geen enkele garantie geboden worden dat dit onderzoek uiteindelijk leiden zal tot een bruikbare en betrouwbare meetmethode.

Daarom is het belangrijk dat het QA/QC-systeem de kwaliteit van het gebruikte beton kan waarborgen. Immers, ONDRAF/NIRAS zal zich via dit systeem vergewissen van het feit dat het op de werf gebruikte beton dezelfde samenstelling heeft als dit waarvoor de permeabiliteit bepaald en/of beargumenteerd werd, zijnde de referentiesamenstellingen. Dit QA/QC-systeem is een geheel van doordachte zelfcontroles, metingen, verificaties en controles door externen. Het zal toelaten met hoge zekerheid te kunnen aannemen dat het beton van de werkelijke betonconstructies equivalent is aan de referentiesamenstellingen. Voor meer informatie over dit QA/QC-systeem wordt verwezen naar §8.8.2.2.

#### **DR5.b Geen doorgaande macro-scheuren**

##### Van toepassing op: modulewand

Doorgaande macro-scheuren zijn niet toegestaan in de modulewanden (**Mod34**).

De modulewanden worden in 1 fase gestort. Dit vermijdt hernemingsvoegen zodat het risico op eventuele doorgaande macro-scheuren ter hoogte van hernemingsvoegen volledig uitgesloten is.

De modulewanden zijn gemaakt van gewapend beton. De druksterkteklasse van het beton is minstens C40/50 (**Mod05**). Tijdens de bouw van de modules zal dit criterium gecontroleerd worden volgens NBN EN 206-1. De wapening die geplaatst wordt, werd bepaald om structurele defecten te vermijden (zie DR9.g). Er zal een visuele inspectie uitgevoerd worden van de modulewanden om een indicatie te krijgen van de scheurvorming. Het al dan niet doorgaand karakter van een scheur kan via een visuele controle echter niet bepaald worden. Daarom werd ook via berekening aangetoond dat het ontwerp doorgaande

macro-scheuren in de modulewanden vermijdt [R8-5]. Het grootste risico op doorgaande scheuren in de wand treedt op net boven de ondersteunende plaat [R8-5]; QC op de afwezigheid van doorgaande scheuren kan bijgevolg gebeuren door het plaatsen van een voldoende hoge laag water (~1 m) op de ondersteunende plaat.

#### **DR5.f Voldoende drainage van water tussen de monolietstapels**

*Van toepassing op: opvulmateriaal in tussenruimten*

De hydraulische geleidbaarheid van het opvulmateriaal van de tussenruimten tussen de monolietstapels onderling en tussen de monolietstapels en de modulewanden moet voldoende hoog zijn, d.w.z. minstens grootteorde  $10^{-4}$  m/s (**Mod06**), zie §3.3 van [R8-6]. Voor het voorgestelde type materiaal (fijn grind, 2/8  $f_2$ ) is dit een realistische waarde ([R8-7], [R8-8]). De hydraulische geleidbaarheid van het basismateriaal wordt bij de uitvoering gecontroleerd volgens de norm NBN ISO/TS 17892-11. De hoeveelheid van fijn materiaal in het grind rondom de monolieten dient gecontroleerd te worden (om eventuele clogging van het drainagesysteem of het ABS te voorkomen). Dit zal gebeuren via de technische fiche en proeven ter verificatie van de granulometrie (NBN CEN ISO/TS 17892-4). Er wordt (conform PTV 411) een ' $f_2$ ' (of lager) opgelegd, d.i. % fijne deeltjes ( $<63 \mu\text{m}$ ) moet  $\leq 2\%$  (**Mod32**).

#### **DR6.a Voldoende hoge hydraulische geleidbaarheid**

*Van toepassing op: inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte*

De hydraulische geleidbaarheid van het opvulmateriaal van de inspectieruimtes moet voldoende hoog zijn, d.w.z. minstens grootteorde  $10^{-6}$  m/s (**Mod07**). Dit blijkt uit modelberekeningen van het anti-badkuipsysteem (ABS) [OD-281] (§7). Het referentieopvulmateriaal is een poreuze grout op basis van CEM I. De samenstelling van dit materiaal is nog te ontwikkelen maar literatuurgegevens geven aan dat de vereiste minimale hydraulische geleidbaarheid realistisch is ([R8-9], [R8-10]). Dit criterium wordt bij de uitvoering gecontroleerd (volgens norm NBN ISO/TS 17892-11) op kernen ontnomen uit het werk en op proefstukken aangemaakt tijdens de uitvoering.

#### **DR6.b Lage effectieve hydraulische geleidbaarheid**

*Van toepassing op: modulewand*

Zie DR5.a.

#### **DR6.c Geen doorgaande macro-scheuren in de modulewanden**

*Van toepassing op: modulewand*

Zie DR5.b.

#### **DR7 Lage effectieve diffusiviteit**

*Van toepassing op: modulewand, ondersteunende plaat*

De initiële effectieve diffusiviteit van de modulewand en de ondersteunende plaat moet laag zijn. Dit is het geval aangezien beton gebruikt wordt voor deze componenten<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> De diffusiecoëfficiënt voor chloriden kan als conservatieve indicator gebruikt worden; voor beton C40/50 is de verwachte grootteorde  $10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s [R8-11].

### DR8 Hoge dispersiviteit

*Van toepassing op: inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte*

Een hoge dispersiviteit van het opvulmateriaal van de inspectieruimtes bevordert de verspreiding van radionucliden in dit sorberende materiaal. Dit wordt bereikt door het gebruik van een poreus medium (het referentieopvulmateriaal is een poreuze grout). De samenstelling van dit materiaal is nog te ontwikkelen.

### DR9.a Weerstaan aan interne en externe sulfaataantasting

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, betonnen sokkels, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, funderingsplaat*

De aarden afdekking en het afval zijn mogelijke beperkte bronnen van sulfaten (zie DR10 voor de afdekking). Het risico op interne en externe sulfaataantasting van de structurele topplaat, de modulewand, de betonnen sokkels, de ondersteunende plaat, de prefab elementen, de kolommen en de funderingsplaat wordt daarom beperkt door gebruik van een gepast type cement ([OD-011], §3.4):

- HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1 (**Mod08**);
- Gehalte aan SO<sub>3</sub> in het cement beperkt tot maximaal 2,5 gew% (**Mod09**);
- Gehalte aan MgO in het cement beperkt tot maximaal 1 gew% (**Mod10**);
- Gehalte aan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in het cement moet minimaal 3,5 gew% en maximaal 5,0 gew% zijn (**Mod38**);
- Het gebruik van LA cement conform aan de norm NBN B12 109 (**Mod11**);
- De hydratatiewarmte wordt beperkt om de uithardingstemperatuur te beperken  $\leq 65^{\circ}\text{C}$  (**Mod13**). Deze waarde is van toepassing op voorwaarde dat ook criterium **Mod11** gerespecteerd wordt en het equivalent alkali-gehalte van het beton, berekend volgens de methode uit TRA 21-600:2008  $\leq 3 \text{ kg/m}^3$  is. Indien niet aan deze twee voorwaarden voldaan is dient de uithardingstemperatuur  $\leq 60^{\circ}\text{C}$  te zijn. Het ontwerp en de praktische procedures (o.a. toelaatbare initiële betontemperatuur) zijn afgestemd om deze maximale temperatuur te respecteren. Afhankelijk van het bekistingstype en de hydratatiewarmte van het cement (het aantal J/g op 41 uur volgens NBN EN 196-9) wordt de maximaal toelaatbare temperatuur van de betonspecie op het moment van storten vastgelegd. Deze waarde wordt afgeleid op basis van numerieke modellen. Op basis van ervaring op de werf (vergelijking tussen gemodelleerde en geobserveerde temperaturen) kan deze praktische eis op de maximaal toelaatbare temperatuur van de betonspecie op het moment van storten bijgesteld worden.

Voor de gebruikte aggregaten geldt:

- Gebruik van niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO) met een laag gehalte aan silica ( $< 4\%$ ) (**Mod14**).

Tijdens de bouw van de modules zullen deze criteria gecontroleerd worden door opvolging van de QA/QC-documenten van de leveranciers en door controles. De uithardingstemperatuur wordt gemeten op enkele kritieke plaatsen in de modules (zie §16.5.3 van HS16). Dit gebeurt met draadloze sensoren die ingebed worden in de constructie.

Verder wordt de expositie klasse XA2 volgens NBN EN206-1 opgelegd voor deze SSC's:

- Hoeveelheid cement  $\geq 320 \text{ kg/m}^3$  (**Mod03**)
- W/C  $\leq 0.5$  (**Mod04**)

- Minimale druksterkteklasse C30/37 (**Mod05** is omhullend hieraan)
- HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1 (**Mod08**)

**Mod05** wordt geverifieerd volgens NBN EN 206-1, de overige drie criteria in documenten van de leveranciers en door controles op grondstoffen.

#### **DR9.b Vermijden van alkali-aggregaat-reacties**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, inspectieruime / opgevulde inspectieruimte, funderingsplaat*

Alkali-silica reacties in de structurele topplaat, de modulewand, de ondersteunende plaat, de prefab elementen, de kolommen, de funderingsplaat en het opvulmateriaal van de inspectieruimte worden vermeden door:

- het gebruik van niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO) met een laag gehalte aan silica (<4%) (**Mod14**). Een bevestiging hiervan en een bevestiging van het niet-reactief gedrag van het aggregaat op het vlak van ASR moeten op de technische fiche vermeld zijn. Testen op de grondstoffen zullen op regelmatige basis uitgevoerd worden om de afwezigheid van ongewenste reacties te bevestigen – de testen gebeuren volgens normen ASTM C 1260 (*Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*) of equivalent en ASTM C 1293 (*Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction*) of equivalent. De eisen volgens deze twee testen zijn respectievelijk een expansie op 16 dagen < 0,10 % (**Mod35**) en een expansie < 0,04 % op één jaar (**Mod36**) ;
- het gebruik van LA cement conform aan de norm NBN B12 109 (**Mod11**). Tijdens de bouw van de modules zal dit criterium regelmatig gecontroleerd worden door analyse op het cement.

#### **DR9.c Weerstaan aan vries-dooi cycli**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, funderingsplaat*

De blootstelling aan vries-dooicycli van de structurele topplaat, de modulewand, de ondersteunende plaat, de prefab elementen, de kolommen en de funderingsplaat wordt beperkt door de aanwezigheid van een geïsoleerde dakstructuur en in een latere fase door de aanwezigheid van de afdekking. Om het risico op schade door vries-dooicycli verder te beperken, worden de volgende maatregelen getroffen (HS05, §5.3.2.8):

- Het beton moet voldoen aan de milieuklasse EE3 in overeenstemming met de normen NBN EN 206-1 en NBN B15-001, i.e.
  - ▶ Cement gehalte  $\geq 320 \text{ kg/m}^3$  (**Mod03**);
  - ▶  $W/C \leq 0,5$  (**Mod04**);
  - ▶ Druksterkteklasse minstens C30/37 (**Mod05** is omhullend hieraan).
  - ▶ Weerstand van aggregaten moet conform aan de norm NBN EN 1367-1:2007 of 2:2010 gemeten worden (**Mod33**)

**Mod05** wordt geverifieerd volgens NBN EN 206-1, de eerste twee criteria in documenten van de leveranciers en door controles op grondstoffen.



- De aanbevelingen van de norm NBN EN 13670 moeten gevolgd worden om te zorgen dat het beton op jonge leeftijd niet aan vries-dooi cycli blootgesteld wordt.

#### **DR9.d Trage carbonatatiesnelheid**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, funderingsplaat*

Carbonatatie kan leiden tot de corrosie van de wapening met als gevolg een degradatie van het gewapend beton. Om degradatie van de structurele topplaat, de modulewand, de ondersteunende plaat, de prefab elementen, de kolommen en de funderingsplaat door carbonatatie voldoende lang uit te stellen wordt er een CEM I cement gebruikt die door zijn hoog gehalte in portlandiet de CO<sub>2</sub> zal consumeren en de carbonatatie zal beperken (**Mod15**) (HS05, §5.3.2.6). Tijdens de bouw van de modules zal dit criterium gecontroleerd worden met controles op het type en gehalte cement. Verder zal de natuurlijke carbonatatiesnelheid opgevolgd worden op proefstukken, dit door om de 2 à 5 jaar de carbonatatediepte te meten op proefstukken en dit tot het einde van fase Ib (zie HS16, §16.5.3). In de verwachte evolutie wordt een maximale carbonatatiecoëfficiënt van 1,6 mm.a<sup>-1</sup> gehanteerd voor niet-ingelegde condities (zie HS05, §5.3.2.6.1). Dit wil zeggen dat de verwachte maximale carbonatatediepte na 5, 50 en 95 jaar respectievelijk 3,6 mm, 11,3 mm en 15,6 mm bedraagt. De detectielimiet voor de carbonatatediepte op proefstukken is van de grootteorde van een millimeter wat compatibel is met de verwachte carbonatatedieptes van de getuigenstructuren.

Om carbonatatie van de structurele topplaat, de modulewand, de ondersteunende plaat, de kolommen en de funderingsplaat verder te vertragen zal er voldoende nabehandeling voorzien worden. Daarom zal het beton van deze componenten minstens één week beschermd blijven door zijn bekisting (en/of water en/of een curing-compound). In de meeste gevallen zal de beoogde maturiteit van 3360°Ch bereikt zijn. Indien niet (bv. in geval van trage hydratatie door lage temperaturen) zal deze periode nog verlengd worden tot de beoogde maturiteit bereikt is<sup>8</sup>. Verder zal de bekisting van de buitenzijde van de modulewand voorzien worden van een CPF-liner (HS02, §2.7.6).

#### **DR9.g Lage (krimp)scheurwijdte**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, ondersteunende plaat, kolommen, funderingsplaat*

Zie §8.5.1.3.

De druksterkteklasse van het beton is minstens C40/50 (**Mod05**). Tijdens de bouw van de modules zal dit criterium gecontroleerd worden volgens NBN EN 206-1.

#### **DR9.h Voorkomen van corrosie van de wapening**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, funderingsplaat*

Carbonatatie kan leiden tot de corrosie van de wapening met als gevolg een degradatie van het gewapend beton. Om degradatie van de structurele topplaat, de modulewand, de ondersteunende plaat, de prefab

---

<sup>8</sup> Beproevingen hebben immers aangetoond dat het betonmengsel indien nabehandeld in laboratoriumomstandigheden (dit wil zeggen bij 20°C) tot 7 dagen na productie, voldoende resistent is tot carbonatatie. Om dit te vertalen naar werfomstandigheden (waar de temperatuur niet constant is), wordt een minimale maturiteit van 3360°Ch (20°C x 24 h/d x 7 d) opgelegd alvorens de nabehandeling kan opgeheven worden.

elementen, de kolommen en de funderingsplaat door carbonatatie voldoende lang uit te stellen is een trage carbonatatiesnelheid van het beton vereist (zie DR9.d) en wordt een wapeningsdekking van minimaal 40 mm (45 +/- 5 mm) gespecificeerd (**Mod22**). Tijdens de bouw van de modules zal dit criterium gecontroleerd worden met de opmeting van de wapeningsdekking alvorens het betonneren volgens norm NBN EN 13670 kan starten. Er zal na ontlasting ook een verificatie uitgevoerd worden, bv. met een pachometer.

#### **DR10 Compatibele materialen gebruiken**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, opvulmateriaal in tussenruimten, betonnen sokkels, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte, afsluiting van de opening tussen inspectieruimte en inspectiegalerij, funderingsplaat*

De compatibiliteit van de materialen van de module is verzekerd aangezien enkel materialen op basis van cement uit de CEM-reeks van NBN EN 197 worden gebruikt. De gebruikte cementsoorten moeten compatibel zijn met calcium-silicaat-cement wat per definitie zo is aangezien enkel calcium-silicaat-cementen gebruikt worden.

Te beschouwen verstoringen aan de performantie zijn complexanten die de chemische retentie verminderen. Stoffen die mogelijk een complexerende werking hebben, kunnen enkel gebruikt worden op voorwaarde dat (1) op basis van een afweging binnen een globale risico-evaluatie de risico's voor de langetermijn als aanvaardbaar geëvalueerd werden, (2) er rekening gehouden wordt met de acties en voorwaarden uit de risico-evaluatie m.b.t. beheersing van het risico en (3) het materiaal afdoende gekwalificeerd werd.

HS05, §5.3.2.13 geeft een analyse voor superplastificeerders van de types *sulfonated* naftaleen-formaldehyde condensaat en polycarboxylaat. Beide types zijn toegelaten. Waar doenbaar, wordt een NS superplastificeerder verkozen boven een PC superplastificeerder ([OD-011], §3.6) en ([OD-187], §1.1) (**Mod23**). Dit wordt geverifieerd in documenten van de leveranciers.

#### **DR11 Afscherming verzekeren**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, ondersteunende plaat, prefab element*

In HS12 (§12.7.1) wordt aangetoond dat de dosis opgelopen door werknemers en leden van het publiek tijdens normale exploitatie aanvaardbaar is. De dosisberekeningen houden rekening met de afscherming die geboden wordt door de diktes van de diverse gewapend beton componenten:

- Structurele topplaat: nominaal 40 cm (**Mod24**)
- Modulewand: nominaal 70/85 cm (**Mod25**)
- Ondersteunende plaat en prefab element: gecombineerde dikte nominaal 70 cm (**Mod26**)

De afmetingen worden geverifieerd op de bekistingsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten.

#### **DR12.a Weerstaan aan de DBE350**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, ondersteunende plaat, kolommen, funderingsplaat*

Zie §8.5.1.3.

#### **DR12.b Weerstaan aan de DBE50**

*Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, betonnen sokkels, ondersteunende plaat, kolommen, funderingsplaat*

Zie §8.5.1.3.

#### **DR12.c Weerstaan aan de ontwerp klimaatbelastingen**

*Van toepassing op: modulewand, betonnen sokkels*

Zie §8.5.1.3 en §8.5.6.3.

#### **DR15.a Monolieten individueel terugneembaar**

*Van toepassing op: opvulmateriaal in tussenruimten*

Om de monolieten individueel terugneembaar te maken werd gekozen voor een materiaal zonder cohesie voor het opvullen van de tussenruimten tussen de monolietstapels onderling en tussen de monolietstapels en de modulewanden. De tussenruimten worden opgevuld met fijn grind (2/8).

#### **DR16.b Mogelijk besmet water opvangen door zwaartekracht drainage**

*Van toepassing op: ondersteunende plaat, funderingsplaat*

Om mogelijk besmet water op te vangen zijn de modules uitgerust met een drainagesysteem. In de modules worden de volgende voorzieningen getroffen:

- De ondersteunende plaat en de funderingsplaat hebben een lage hydraulische geleidbaarheid
  - ▶ Dit wordt bereikt door het gebruik van een gepaste betonsamenstelling (zie DR5.a)
  - ▶ De volgende criteria gelden bijgevolg voor het beton van de ondersteunende plaat en de funderingsplaat:
    - Hoeveelheid cement  $\geq 320 \text{ kg/m}^3$  (**Mod03**)
    - $W/C \leq 0,5$  (**Mod04**)
    - Minimale druksterkteklasse C30/37 (**Mod05** is omhullend hieraan)
    - HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1 (**Mod08**)

**Mod05** wordt geverifieerd volgens NBN EN 206-1, de overige drie criteria in documenten van de leveranciers en door controles op grondstoffen.

- De verbindingen tussen de ondersteunende plaat en de funderingsplaat enerzijds en de modulewand anderzijds zijn uitgerust met een stalen voeg.
- De ondersteunende plaat is uitgerust met gootjes om beweging van mogelijk aanwezig water naar het drainagesysteem te bevorderen (zie ook §8.5.5.4).
- De bovenzijde van de funderingsplaat is hellend uitgevoerd om mogelijk aanwezig water onder invloed van de zwaartekracht af te leiden naar het drainagesysteem.
  - ▶ Een initiële helling van 0,85% is voorzien. Differentiële zettingen tijdens de exploitatie zullen deze helling vergroten (zie §4.1.6 van [OD-120]). Gezien de beoogde werking van het drainagesysteem, is de goede werking ervan onafhankelijk van zettingen van de verwachte grootteorde.

**DR16.c Over een inspectieruimte te beschikken**

Van toepassing op: inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte

Elke module is voorzien van een inspectieruimte.

**DR17 De stalen dakstructuur moet alle modules beschermen**

Van toepassing op: betonnen sokkels

Alle modules zijn uitgerust met betonnen sokkels zodat de stalen dakstructuur alle modules beschermt.

**DR20 Anti-badkuipsysteem (ABS)**

Van toepassing op: inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte

Het design voorziet in een anti-badkuipsysteem.

De hydraulische geleidbaarheid van het opvulmateriaal van de inspectieruimte moet voldoende hoog zijn (zie DR6.a).

Er wordt een kleine hindernis ingebouwd net voor de voeg in de verbindingstunnels, dit om een uniformere flux uit de module te krijgen bij volledig gescheurd beton van de funderingsplaat.

**DR21 Materialen kiezen die gasproductie in het bergingssysteem voorkomen**

Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, opvulmateriaal in tussenruimten, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte, afsluiting van de opening tussen inspectieruimte en inspectiegalerij, funderingsplaat

Gasproductie door de cementgebonden barrières van het bergingssysteem is niet verwacht.

**DR22 Materialen gebruiken die de waarschijnlijkheid en de impact van brand tot een minimum beperken**

Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, opvulmateriaal in tussenruimten, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte, afsluiting van de opening tussen inspectieruimte en inspectiegalerij, funderingsplaat

Er worden enkel cementgebonden materialen en granulaten (opvulmateriaal van de tussenruimten) gebruikt zodat de waarschijnlijkheid op en de gevolgen van brand geminimaliseerd zijn.

**DR25.a Weerstaan aan de statische belastingen**

Van toepassing op: structurele topplaat, modulewand, betonnen sokkels, ondersteunende plaat, prefab element, kolommen, funderingsplaat

Zie §8.5.1.3.

**DR25.b Weerstaan aan de dynamische belastingen**

Van toepassing op: modulewand, betonnen sokkels, ondersteunende plaat, prefab element

Zie §8.5.1.3.

**DR25.d De aanwezigheid van lege ruimtes in de installatie beperken**

Van toepassing op: opvulmateriaal in tussenruimten, inspectieruimte / opgevulde inspectieruimte, afsluiting van de opening tussen inspectieruimte en inspectiegalerij

Om de lege ruimtes in de installatie te beperken worden tijdens de structurele sluiting van een module de tussenruimten tussen de monolietstapels onderling en tussen de monolietstapels en de modulewanden

opgevuld. Dit gebeurt met droog en goed gekalibreerd (2/8) fijn grind waardoor een hoge opvullingsgraad kan bekomen worden.

De inspectieruimte wordt opgevuld met een grout. Om lege ruimtes te beperken moet de opvulling van de inspectieruimte en de verbindingstunnels tussen de inspectiegalerij en de module nagenoeg volledig zijn. **Mod02** (vulgraad  $\geq 98\%$ ) is omhullend.

### 8.5.1.3 Ontwerpberekeningen

De ontwerpberekeningen worden gedetailleerd beschreven in [OD-166], annex 4.

Twee belangrijke configuraties moeten in overweging worden genomen bij het ontwerp van de modules: de ene configuratie met afdekking en de andere zonder de afdekking. De configuratie met de afdekking is deze die dimensionerend is, uitgezonderd voor de betonnen sokkels. Bijgevolg behandelt deze paragraaf enkel de configuratie mét afdekking. Het ontwerp van de sokkels en een algemene controle van het ontwerp voor de configuratie zonder afdekking wordt behandeld in §8.5.6.3.

De wapening die geplaatst wordt in de structurele topplaat, de modulewand, de ondersteunende plaat, de kolommen en de funderingsplaat wordt bepaald om:

- structurele defecten te vermijden (Uiterste GrensToestand of UGT of *ULS*);
- de maximum berekende scheurbreedtes te beperken tot 0,3 mm onder quasi-permanente belasting (gebruiksgrenstoestand of GGT of *SLS*);
- te voldoen aan de minimale wapeningsvereisten volgens NBN EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2).

Daartoe worden de statische en seismische structuurresponsen van de modules berekend aan de hand van de eindige elementen software Ansys door het uitvoeren van respectievelijk een **lineaire statische analyse** en een **responspectrum analyse**. 3D eindige elementen modellen, die rekening houden met de juiste grond-structuur interactie, worden toegepast.

#### Lineaire statische analyse

Lineaire statische analyse is de meest elementaire vorm van analyse. De term "lineair" betekent dat de berekende reactie - bijvoorbeeld verplaatsing of spanning - in een lineair verband staat met de toegepaste belastingen. De term "statisch" betekent dat de belasting niet in de tijd varieert of de tijdvariatie onbelangrijk is en daarom kan genegeerd worden.

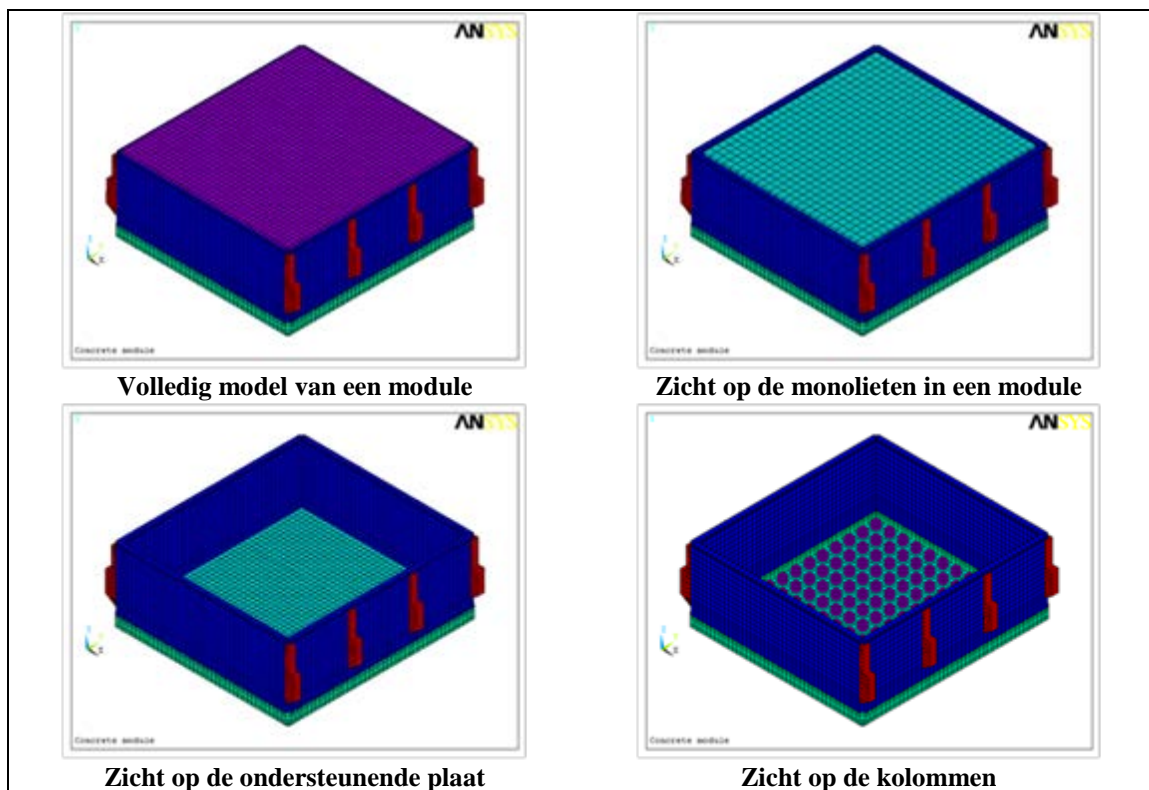
De vergelijking van de statische analyse is:  $[K] \{u\} = \{f\}$

waarbij  $[K]$  de stijfheidsmatrix is;

$\{u\}$  de vector van de verplaatsingen is;

$\{f\}$  de vector van de belasting is.

Het Ansys model wordt weergegeven in Figuur 8-9. Voor de berekening van de statische structuurrespons wordt de bodem gemodelleerd door elementen met een equivalente stijfheid.



Figuur 8-9: Model van een module.

### Respons spectrum analyse

De seismische analyse van de structuur wordt uitgevoerd aan de hand van de respons spectrum methode. Twee snedes van de modellering worden beschouwd: een model wordt gebruikt voor de horizontale X en verticale Z seismische componenten en één voor de horizontale Y seismische component (Figuur 8-10). Voor elke richting (X, Y, Z) worden specifieke randvoorwaarden opgelegd. De modules worden gemodelleerd zoals op Figuur 8-9. De bodem wordt expliciet gemodelleerd.

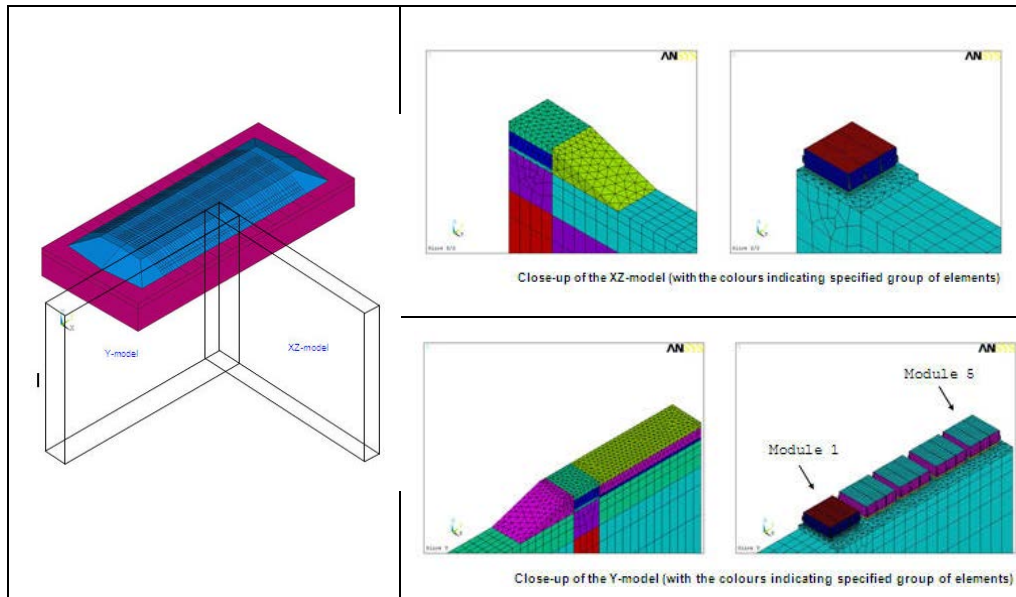
### Belastingscombinaties

Wanneer de afdekking is geplaatst, wordt met drie belastingen rekening gehouden:

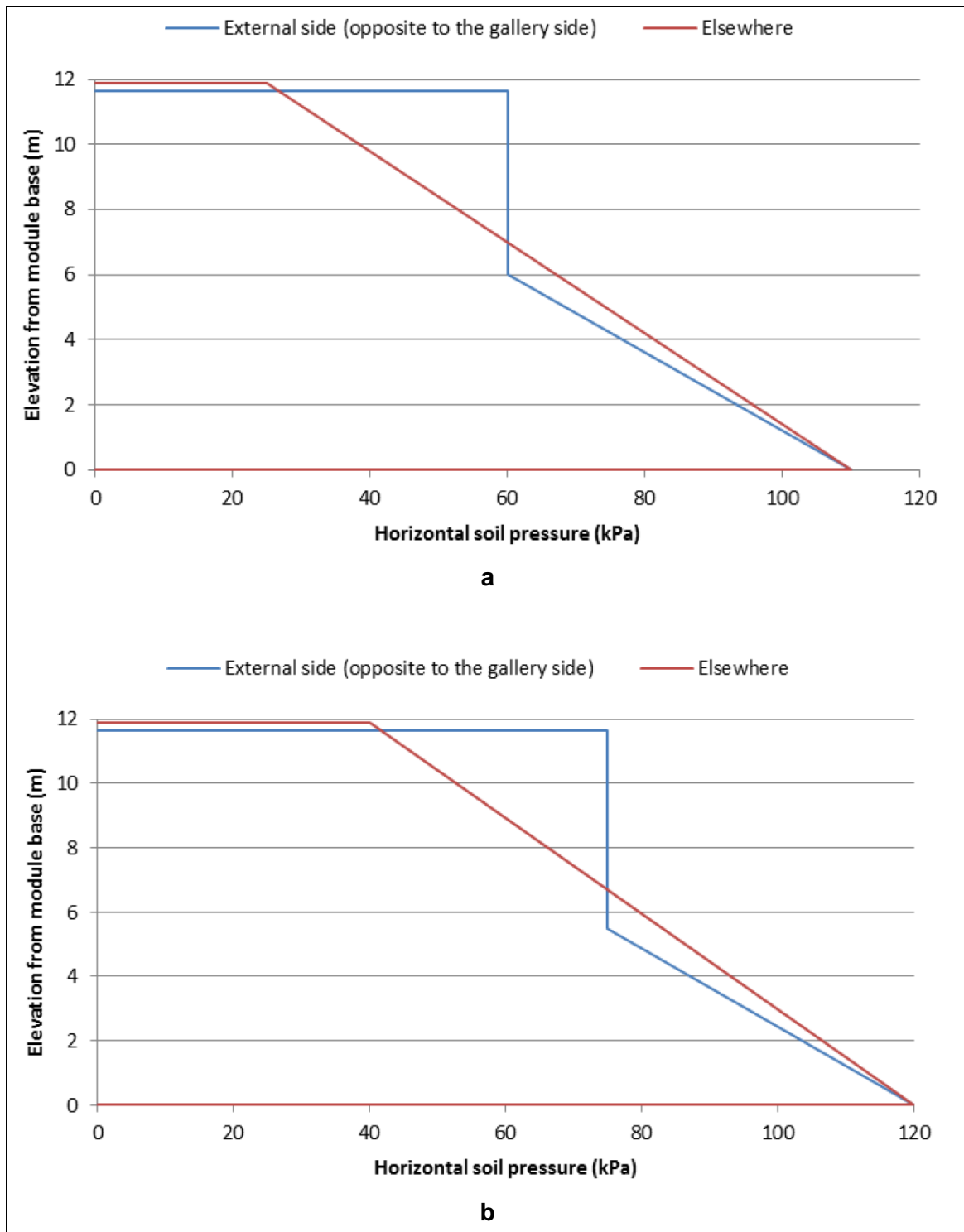
- D Eigengewicht van de module en de monolieten
- H Horizontale en verticale gronddrukken (cf. afdekking) – aparte combinaties voor permanente en variabele belastingen
  - ▶ Het soortelijk gewicht van de aarden afdekking wordt in deze analyse genomen als het berekende gewogen gemiddelde voor het referentieprofiel:  $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$
  - ▶ de horizontale grondbelastingen die in het ontwerp ingrijpen op de modulewanden zijn weergegeven in Figuur 8-11 (zie §4.1.1.3.1 van annex 4 aan [OD-166])
- DBE350 Ontwerpaardbeving met een terugkeerperiode van 8575 jaren (bepaald in de respons spectrum analyse)

De relevante belastingsgevallen en hun combinaties worden gegeven in Tabel 8-6:

- FONDi Fundamentele combinaties
- SEISMi Seismische ontwerpsituaties
- QPERMi Quasi-permanente combinaties



Figuur 8-10: Snedes van de modellering worden gebruikt in de respons spectrum analyse.



Figuur 8-11: Laterale gronddruk op de modulewanden. (a) Voor de gevallen ZONDER uitvoeringsbelastingen:  $H_{perm}$  (b) Voor de gevallen MET uitvoeringsbelastingen:  $H_{var}$ . De curves uit (a) worden o.a. gecombineerd met het belastingsgeval seïsme. Er werd ook een geverifieerd dat het ontwerp weerstaat aan de curves uit (b), meer bepaald in belastingscombinatie FOND2.



Tabel 8-6: Beschouwde belastingscombinaties voor de dimensionering van de modules.

| Ontwerpsituatie                 |        | Fase Ib t.e.m. III<br>(modules afgedekt door de afdekking) |           |                   |           |                  |           |         |           |
|---------------------------------|--------|--|-----------|-------------------|-----------|------------------|-----------|---------|-----------|
|                                 |        | D  |           | H <sub>perm</sub> |           | H <sub>var</sub> |           | DBE350  |           |
| Belastingsgeval <sup>9,10</sup> |        | Gunstig  | Ongunstig | Gunstig           | Ongunstig | Gunstig          | Ongunstig | Gunstig | Ongunstig |
| Combinaties <sup>11</sup>       |        | Gunstig  | Ongunstig | Gunstig           | Ongunstig | Gunstig          | Ongunstig | Gunstig | Ongunstig |
| ULS                             | FOND1  | 1,00   | 1,35      | 1,00              | 1,35      | 0,00             | 0,00      | 0,00    | 0,00      |
|                                 | FOND2  | 1,00   | 1,35      | 0,00              | 0,00      | 0,00             | 1,50      | 0,00    | 0,00      |
|                                 | SEISM1 | 1,00   | 1,00      | 1,00              | 1,00      | 0,00             | 0,00      | 1,00    | 1,00      |
| SLS                             | QPERM1 | 1,00   | 1,00      | 1,00              | 1,00      | 0,00             | 0,00      | 0,00    | 0,00      |

De structurele topplaat, de modulewand, de ondersteunende plaat, de kolommen en de funderingsplaat moeten weerstaan aan de DBE350 in de configuratie waarbij de afdekking aanwezig is. Verder werd geverifieerd dat de wapening voldoende is om een DBE50 te weerstaan in de configuratie waarbij het vast stalen dak aanwezig is. Deze verificatie gebeurde ook voor de betonnen sokkels (zie hiervoor §8.5.6.3 bij het vast stalen dak).

Ook de impact van de uitvoeringsbelastingen bij het plaatsen van de afdekking werd geëvalueerd. Er werd een uniform verdeelde belasting van 20 kPa beschouwd in twee configuraties (zie §10 van annex 4 aan [OD-166]). De resulterende gronddruk werd gebruikt bij de structurele berekening van de structuren in de ULS-belastingscombinatie (FOND2); zie Figuur 8-11.

De maximale (krimp)scheurwijdte is een compromis tussen het beperken van de afmetingen van de scheuren en het beperken van de krimp wapeningsdichtheid (praktische en langetermijnveiligheidsaspecten). Scheurwijdtes worden berekend aan de hand van de fib Model Code. Hierbij worden in één en dezelfde formule de scheurwijdtes gecombineerd die voortkomen uit zowel krimp als externe belasting. Een maximale scheurwijdte van 0,3 mm (**Mod37**) wordt opgelegd ([OD-166], §5.2.2 van Annex 4). Er wordt een visuele inspectie uitgevoerd om scheuren en hun karakteristieken in kaart te brengen. De minimale wapening om de maximale theoretische scheurwijdte te beperken tot 0,3 mm wordt gegeven op de volgende cartografieën (SLS-berekeningen):

- Structurele topplaat: Figuren 65 t.e.m. 68 van annex 4 aan [OD-166] (**Mod16**)
- Modulewand: Figuren 69 t.e.m. 76 van annex 4 aan [OD-166] (**Mod17**)

<sup>9</sup> Aangezien de grondbelasting zeer hoog is, zijn de sneeuwbelasting en de windbelasting op de tumulus verwaarloosbaar en worden deze dus niet beschouwd.

<sup>10</sup> Zoals uitgelegd in §5.1 van [OD-166] wordt krimp ook in rekening gebracht in het GGT ontwerp van de wapening in de scheurwijdteformule.

<sup>11</sup> Volgens NBN EN 1990: 2002 en NBN EN 1990 ANB: 2007.

- Ondersteunende plaat: Figuren 61 t.e.m. 64 van annex 4 aan [OD-166] (**Mod18**)
- Funderingsplaat: Figuren 57 t.e.m. 60 van annex 4 aan [OD-166] (**Mod19**)

De structurele topplaat, de modulewand, de ondersteunende plaat, de kolommen en de funderingsplaat moeten weerstaan aan de DBE350. De minimale wapening om de DBE350 te weerstaan wordt gegeven op de volgende cartografieën (ULS-berekeningen):

- Structurele topplaat: Figuren 35 t.e.m. 38 van annex 4 aan [OD-166] (**Mod27**)
- Modulewand: Figuren 39 t.e.m. 46 en figuren 54 en 55 van annex 4 aan [OD-166] (**Mod28**)
- Ondersteunende plaat: Figuren 31 t.e.m. 34 van annex 4 aan [OD-166] (**Mod29**)
- Funderingsplaat: Figuren 27 t.e.m. 30 van annex 4 aan [OD-166] (**Mod30**)

De vereiste wapening moet omhullend zijn aan bovenstaande eisen voor ULS, SLS en minimale wapening en wordt gegeven op de cartografieën in figuren 99 t.e.m. 118 van annex 4 aan [OD-166].

Voor de kolommen werd geverifieerd of de voorgestelde wapening voldoet (zie §5.3.2 van annex 4 aan [OD-166]). De wapening bedraagt 4 staven van diameter 16 mm aan elke zijde van de kolom en een dwarskrachtwapening van 5 staven van 12 mm (tussenafstand 150 mm) in elke richting (**Mod20**).

Hieronder worden de gemiddelde wapeningshoeveelheden opgegeven, afgeleid van de principewapening die bepaald werd op basis van de hierboven vermelde figuren (zie §5.3.4.1 en §5.3.4.2 van annex 4 aan [OD-166]). De wapeningsplannen (121\_MWG\_GCFE\_100 t.e.m. 105) voldoen aan de omhullende eisen. Indien de wapeningsplannen aangepast worden kan dit aanvaardbaar zijn indien de resulterende wapening minstens gelijk is aan deze vereist volgens de berekeningsresultaten. De gemiddelde wapeningsdichtheden (met karakteristieke vloeigrens  $f_{yk} \geq 500$  MPa) (**Mod21**) in de betonnen modules zijn (annex 4 aan [OD-166]):

- Funderingsplaat: 125 kg/m<sup>3</sup>;
- Ondersteunende plaat: 190 kg/m<sup>3</sup>;
- Structurele topplaat: 334 kg/m<sup>3</sup>;
- Wanden parallel aan de galerij
  - ▶ Gedeelte van 70 cm dik: 187 kg/m<sup>3</sup>;
  - ▶ Gedeelte van 85 cm dik: 98 kg/m<sup>3</sup>;
- Wanden loodrecht op de galerij
  - ▶ Gedeelte van 70 cm dik: 186 kg/m<sup>3</sup>;
  - ▶ Gedeelte van 85 cm dik: 93 kg/m<sup>3</sup>;
- Kolommen van de inspectieruimte: 113 kg/m<sup>3</sup>.

De vereiste overlappings- en verankeringslengtes zijn in bovenstaande waarden NIET meegeteld (factor 1,25). Bovendien kunnen bij de praktische uitvoering (kleine) wijzigingen nodig zijn in de wapeningsconfiguraties. De hoeveelheid en de schikking van de wapening worden geverifieerd op de wapeningplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten. **Mod21** wordt geverifieerd op materiaal fiches en door testen.

Kruip- en spanningsniveaus werden beoordeeld en vereisen geen bijkomende wapening ([OD-166], §6 van annex 4).

De invloed van de verwachte zettingen werd geëvalueerd. De relatieve rotatie voldoet aan de opgelegde vereisten van bijlage H van Eurocode 7 [OD120]. Dit betekent dat er geen extra maatregelen vereist zijn.

De dynamische belasting uitgeoefend door de rolbrug en overgebracht op de stalen dakstructuur, vervolgens op de betonnen sokkels en vervolgens op de modulewanden werd meegenomen bij het bepalen van de benodigde wapeningshoeveelheid (zie §4 van annex 1 aan [OD-167]).

De dynamische belasting van de ondersteunende plaat bij het neerzetten van een monoliet is ruimschoots afgedekt door de totale statische belasting in de finale configuratie.

Voor de prefab-elementen is de voornaamste statische belasting de belasting van het vloeibare beton van de ondersteunende plaat tijdens de constructiefase. De druksterkteklasse van het beton van de prefab elementen is minstens C40/50 (**Mod05**). Tijdens de bouw van de modules zal dit criterium gecontroleerd worden volgens NBN EN 206-1. De principewapening van de prefab elementen bestaat uit een net van 150/150/8/8 (**Mod31**). De principewapening moet – in functie van de effectieve uitvoering – worden bevestigd door de aannemer en ter goedkeuring door hem worden voorgelegd aan NIRAS. Bij de berekening van de vereiste wapening voor de prefab elementen moet rekening gehouden met het dynamische effect van het storten van de ondersteunende plaat.

#### 8.5.1.4 Beschrijving van het ontwerp

De oorsprong van de afmetingen, de configuratie en de inplanting van de modules wordt besproken in annex 8 aan [OD-166]. De oorsprong van het aantal modules wordt behandeld in van §2.3.4 van HS02.

De modules zijn structuren uit gewapend beton die in situ zijn gegoten. Elke module is structureel onafhankelijk. De wanden zijn verbonden met de funderingsplaat, de ondersteunende plaat en de structurele topplaat door middel van koppelsystemen. Tijdens de operationele fase Ia leveren de wanden eveneens steun aan de dakstructuur. De modulewanden zijn daartoe voorzien van betonnen sokkels die de stalen dakconstructie dragen. Aan hun basis bevinden er zich drie smalle toegangsopeningen naar de inspectieruimte. Onder de modulewanden bevindt zich een glijoplegging onder de vorm van afgeschuinde stalen platen.

Wanneer een module is gevuld met monolieten, wordt de residuele ruimte tussen de monolieten onderling en tussen de monolieten en de modulewanden opgevuld met fijn grind. De residuele ruimte is nodig om rekening te kunnen houden met de bouwtoleranties en lichte plaatsafwijkingen. De terugneembaarheid van de monolieten is beter behouden bij opvullen met fijn grind dan bij opvullen met bijvoorbeeld beton.

De belangrijkste afmetingen en eigenschappen van de modulecomponenten worden hieronder samengevat. De opgegeven betondekking volgt uit de dikte nodig om het carbonatatiefront voldoende lang weg te houden van de wapening (zie HS05, §5.3.2.6.1).

- Wanden
  - ▶ Dikte: 0,70 m (0.85 m ter hoogte van de inspectieruimte)
  - ▶ Hoogte: 11,05 m
  - ▶ Overige afmetingen: 25,40 m x 27,40 m

- ▶ Betondekking:  $\geq 0,040$  m
- Funderingsplaat
  - ▶ Dikte: varieert tussen 0,70 m en 0,90 m
  - ▶ Niveau: start op 28,0 mTAW
  - ▶ Overige afmetingen: 23,70 m x 25,70 m
  - ▶ Betondekking:  $\geq 0,040$  m
- Kolommen
  - ▶ Hoogte varieert tussen 0,60 m en 0,80 m
  - ▶ Overige afmetingen: 0,75 m x 0,75 m
  - ▶ Betondekking:  $\geq 0,040$  m
  - ▶ Aantal: 156 in elke module, één onder elke stapel monolieten
- Ondersteunende plaat
  - ▶ Dikte: 0,70 m
  - ▶ Niveau: start op 29,5 mTAW → eerste laag monolieten start op 30,2 mTAW
  - ▶ Overige afmetingen: 24,00 m x 26,00 m
  - ▶ Betondekking:  $\geq 0,040$  m
  - ▶ Bestaat uit twee componenten:
    - Prefab platen gebruikt als bekisting, geplaatst op de kolommen
    - Gewapend beton ter plaatse gestort
- Sokkels voor de verbinding met de stalen dakconstructie
  - ▶ Zie §8.5.6.
- Opvulmateriaal in tussenruimten
  - ▶ Nominale breedte op te vullen ruimtes: ~5 cm
  - ▶ Hoogte: ~8,4 m
- Structurele topplaat
  - ▶ Dikte: 0,40 m
  - ▶ Overige afmetingen: 24,00 m x 26,00 m
  - ▶ Betondekking:  $\geq 0,040$  m

Voor de betonsamenstelling en de betonfenomenologie, zie HS05, §5.3. Voor de groutsamenstelling (opvulling inspectieruimte) en de fenomenologie ervan, zie HS05, §5.8.

De voegen<sup>12</sup> tussen de modulewanden enerzijds en de ondersteunende plaat en de funderingsplaat anderzijds worden besproken in §8.6.1.2.

Fijn grind wordt gebruikt als opvulmateriaal in de tussenruimten.

Het laagste toegangspunt (toegang WCB) ligt op 25,7 mTAW, wat waterindringing door overstroming uitsluit.

De toegangen tot de inspectieruimte worden afgesloten door geprefabriceerde betonnen afsluitplaten die in de openingen geplaatst worden. Deze platen bevatten de nodige functionele openingen voor de passage van de inspectierobot en drainage-leidingen en opvulleidingen (zie §8.6.5) maar verhinderen de directe toegang voor mensen.

De inspectieruimte zal worden opgevuld tijdens fase II. **Sommige voorzieningen die nodig zijn voor de opvoloperatie moeten worden geïnstalleerd tijdens de bouw van de modules.** Deze zijn beschreven in §8.6.5.

#### 8.5.1.5 Vergelijking Eurocode VS. ACI

Ten indicatieve titel werd in [OD-259] geverifieerd of het gebruik van de Eurocode wapeningsvoorschriften oplevert die ook voldoen aan de vereisten van de nucleaire norm ACI 349. In de dimensionering met ACI 349 werd de staalsterkte beperkt tot 414 MPa (zoals voorzien in ACI 349) en wordt de aardbeving beschouwd als een SSE-aardbeving. De resultaten worden samengevat in Tabel 8-7.

Tabel 8-7: Overzicht van de verificatie van de wapening volgens ACI 349.

| SSC      | UGT     |             | GGT | Minimale wapening |             |
|----------|---------|-------------|-----|-------------------|-------------|
|          | Buiging | Dwarskracht |     | Buiging           | Dwarskracht |
| Wand     | OK      | Afwijking   | nvt | OK                | nvt         |
| Platen   | OK      | nvt         | nvt | OK                | nvt         |
| Kolommen | OK      | OK          | nvt | Afwijking         | OK          |

Uit bovenstaande blijkt dat de wapening voor de meeste aspecten eveneens voldoet aan de eisen van ACI 349. Door verschillen in berekeningshypotheseën tussen de twee normen zou een ontwerp volgens ACI 349 een hogere wapeningsdensiteit geven voor slechts 2 aspecten:

- de dwarskrachtwapening aan de zijkanten van de wanden;
- de minimale dwarskrachtwapening van de kolommen.

De wapening zoals bepaald volgens de Eurocode zal worden geïmplementeerd.

OPMERKING: [OD-259] werd gemaakt tijdens de initiële versie van het veiligheidsrapport (versie januari 2013). Bepaalde inputparameters zijn intussen geëvolueerd maar de conclusies omtrent de bruikbaarheid van Eurocode blijven geldig.

<sup>12</sup> De voegen worden beschouwd als onderdeel van de vloerplaten. De ontwerpvereisten, voorziene levensduur en de omstandigheden en accidentele belastingen waarbij ze hun functie dienen te behouden zijn bijgevolg identiek aan die van de vloerplaten zelf.

## 8.5.2 Monoliet

Zie HS07 en HS15.

## 8.5.3 Afschermingsplaten

### 8.5.3.1 Specifieke ontwerpnormen en voorschriften

- NBN EN 14651 voor testen tijdens uitvoering.
- de Europese betonnorm met zijn Belgische uitbreiding: NBN EN 206-1:2001, NBN B 15-001:2004, het addendum NBN EN 206-1/A1:2004, het addendum NBN EN 206-1/A2:2005; NBN B12-109 (LA cement), NBN EN 197-1, NBN B12 108 (HSR cement).

### 8.5.3.2 Ontwerpvereisten

De ontwerpvereisten van toepassing op de afschermingsplaten zijn gegeven in Tabel 8-8 (hernomen uit Bijlage 2).

Tabel 8-8: Ontwerpvereisten van toepassing op de afschermingsplaten.

| SSC                      | Ontwerpvereisten (DR) |     |     |   |   |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |    |    |      |      |      |    |      |    |    |    |      |      |      |
|--------------------------|-----------------------|-----|-----|---|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|------|------|----|------|----|----|----|------|------|------|
|                          | 1.a                   | 1.b | 2.a | 3 | 4 | 5.a | 5.b | 5.f | 7 | 9.a | 9.b | 9.c | 9.d | 9.g | 9.h | 10 | 11 | 12.a | 12.b | 13.a | 14 | 15.b | 21 | 22 | 24 | 25.a | 25.b | 25.d |
| 3. Module dak            |                       |     |     |   |   |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |    |    |      |      |      |    |      |    |    |    |      |      |      |
| Prefab afschermingsplaat |                       | X   |     |   |   | X   | X   |     |   | X   | X   | X   |     |     |     | X  | X  | X    | X    |      |    |      | X  | X  |    | X    | X    |      |

### DR1.b Weinig waardevolle materialen gebruiken

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

De prefab afschermingsplaten zijn gemaakt op basis van cement en courante granulaten, die weinig waarde hebben voor een mogelijke indringer. Het staal van de wapening (vezels) en de hijsankers is potentieel attractief maar is nodig voor de stabiliteit en de manutentie.

### DR5.a Lage effectieve hydraulische geleidbaarheid

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

De initiële hydraulische geleidbaarheid van de prefab afschermingsplaten moet voldoende laag zijn om water maximaal af te leiden naar de tussenruimten tussen de monolietstapels. Dit wordt bereikt door het gebruik van een gepaste betonsamenstelling.

De referentiesamenstelling van het gebruikte beton heeft namelijk een gepaste water/cement verhouding (door het gebruik van superplastificeerder) waardoor de porositeit (en de hydraulische geleidbaarheid) beperkt wordt.

### DR5.b Geen doorgaande macro-scheuren

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

Doorgaande macro-scheuren zijn niet toegestaan in de prefab afschermingsplaten (**Ap116**).

De prefab afschermingsplaten zijn gemaakt van vezelversterkt beton. De druksterkteklasse van het beton is minstens C40/50 (**Ap103**). Tijdens de fabricage zal dit criterium gecontroleerd worden volgens NBN EN 13369. De vezelhoeveelheid wordt bepaald om structurele defecten te vermijden (zie DR25.a en

DR25.b). De afwezigheid van doorgaande macro-scheuren zal gecontroleerd worden op de afgewerkte producten. Dit kan gebeuren door het onder water zetten van het bovenzvlak van de plaat of andere equivalente maatregelen.

#### **DR9.a Weerstaan aan interne en externe sulfaataantasting**

##### Van toepassing op: prefab afschermingsplaat

Het risico op interne en externe sulfaataantasting wordt beperkt door gebruik van een gepast type cement ([13], §3.3.1):

- HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1 (**Apl04**);
- Gehalte aan SO<sub>3</sub> in het cement beperkt tot maximaal 2,5 gew% (**Apl05**);
- Gehalte aan MgO in het cement beperkt tot maximaal 1 gew% (**Apl06**);
- Gehalte aan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in het cement moet minimaal 3,5 gew% en maximaal 5,0 gew% zijn (**Apl13**);
- Het gebruik van LA cement conform aan de norm NBN B12 109 of equivalent (**Apl07**);

Voor de gebruikte aggregaten geldt:

- Gebruik van niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO) met een laag gehalte aan silica (< 4%) (**Apl09**).

Tijdens de fabricage zullen deze criteria gecontroleerd worden door opvolging van de QA/QC-documenten van de leveranciers en door controles.

De uithardingstemperatuur moet beperkt blijven  $\leq 65^{\circ}\text{C}$  (**Apl17**). Deze waarde is van toepassing op voorwaarde dat ook criterium **Apl07** gerespecteerd wordt en het equivalent alkali-gehalte van het beton, berekend volgens de methode uit TRA 21-600:2008  $\leq 3 \text{ kg/m}^3$  is. Indien niet aan deze twee voorwaarden voldaan is dient de uithardingstemperatuur  $\leq 60^{\circ}\text{C}$  te zijn. Gezien de beperkte afmetingen van de afschermingsplaat worden er geen problemen verwacht om aan dit criterium te voldoen. Tijdens de opstart van de fabricage zal de temperatuur tijdens de uitharding van enkele afschermingsplaten gemeten worden ter bevestiging.

Verder wordt de expositie klasse XA2 volgens NBN EN206-1 opgelegd voor deze SSC:

- Hoeveelheid cement  $\geq 320 \text{ kg/m}^3$  (**Apl01**)
- W/C  $\leq 0,5$  (**Apl02**)
- Minimale druksterkteklasse C30/37 (**Apl03** is omhullend hieraan)
- HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1 (**Apl04**)

De eerste drie van bovenstaande criteria worden geverifieerd volgens NBN EN 13369, het vierde in documenten van de leveranciers en door controles op grondstoffen.

#### **DR9.b Vermijden van alkali-aggregaat-reacties**

##### Van toepassing op: prefab afschermingsplaat

Alkali-silica reacties in de prefab afschermingsplaten worden vermeden door:

- het gebruik van niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO) met een laag gehalte aan silica (< 4%) (**Apl09**). Een bevestiging hiervan en een bevestiging van het niet-reactief gedrag van het aggregaat op het vlak van ASR moeten op de technische fiche vermeld

zijn. Testen op de grondstoffen zullen op regelmatige basis uitgevoerd worden om de afwezigheid van ongewenste reacties te bevestigen – de testen gebeuren volgens normen ASTM C 1260 (*Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*) of equivalent en ASTM C 1293 (*Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction*) of equivalent. De eisen volgens deze twee testen zijn respectievelijk een expansie < 0,10 % op 16 dagen (**Apl14**) en een expansie < 0,04 % op één jaar (**Apl15**);

- het gebruik van LA cement conform aan de norm NBN B12 109 (**Apl07**). Tijdens de fabricage van de afschermingsplaten zal dit criterium regelmatig gecontroleerd worden door analyse op het cement.

#### **DR9.c Weerstaan aan vries-dooi cycli**

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

De blootstelling aan vries-dooicycli van de prefab afschermingsplaten wordt beperkt door de aanwezigheid van een geïsoleerde dakstructuur en in een latere fase door de aanwezigheid van de afdekking. Om het risico op schade door vries-dooicycli verder te beperken, worden de volgende maatregelen getroffen (HS05, §5.3.2.8):

- Het beton moet voldoen aan de milieuklasse EE3 in overeenstemming met de normen NBN EN 206-1 en NBN B15-001, i.e.
  - ▶ Cement gehalte  $\geq 320 \text{ kg/m}^3$  (**Apl01**);
  - ▶ W/C  $\leq 0,5$  (**Apl02**);
  - ▶ Druksterkteklasse minstens C30/37 (**Apl03** is omhullend hieraan);
  - ▶ Weerstand van aggregaten moet conform aan de norm NBN EN 1367-1:2007 of 2:2010 gemeten worden (**Apl18**).

De eerste drie van bovenstaande criteria worden geverifieerd volgens NBN EN 13369.

#### **DR10 Compatibele materialen gebruiken**

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

De compatibiliteit van de materialen van de afschermingsplaat is verzekerd aangezien enkel materialen op basis van cement uit de CEM-reeks van NBN EN 197 worden gebruikt. De gebruikte cementsoorten moeten compatibel zijn met calcium-silicaat-cement wat per definitie zo is aangezien enkel calcium-silicaat-cementen gebruikt worden.

Te beschouwen verstoringen aan de performantie zijn complexanten die de chemische retentie verminderen. Stoffen die mogelijk een complexerende werking hebben, kunnen enkel gebruikt worden op voorwaarde dat (1) op basis van een afweging binnen een globale risico-evaluatie de risico's voor de langetermijn als aanvaardbaar geëvalueerd werden, (2) er rekening gehouden wordt met de acties en voorwaarden uit de risico-evaluatie m.b.t. beheersing van het risico, en (3) het materiaal afdoende gekwalificeerd werd.

HS05, §5.3.2.13 geeft een analyse voor superplastificeerders van de types *sulfonated* naftaleen-formaldehyde condensaat en polycarboxylaat. Beide types zijn toegelaten. Waar doenbaar, wordt een NS superplastificeerder verkozen boven een PC superplastificeerder ([OD-011], §3.6) en ([OD-187], §1.1) (**Apl12**). Dit wordt geverifieerd in documenten van de leveranciers.



### **DR11 Afscherming verzekeren**

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

In HS12 (§12.7.1) wordt aangetoond dat de dosis opgelopen door werknemers en leden van het publiek tijdens normale exploitatie aanvaardbaar is. De dosisberekeningen houden rekening met de afscherming die geboden wordt door de dikte van de afschermingsplaten:

- Prefab afschermingsplaat: nominaal 30 cm (**Apl11**)

De afmetingen worden geverifieerd op de bekistingsplannen en op de afgewerkte producten.

### **DR12.a Weerstaan aan de DBE350**

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

Zie §8.5.3.3.

### **DR12.b Weerstaan aan de DBE50**

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

DR12.a is omhullend.

### **DR21 Materialen kiezen die gasproductie in het bergingssysteem voorkomen**

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

Gasproductie door de cementgebonden barrières van het bergingssysteem is niet verwacht.

### **DR22 Materialen gebruiken die de waarschijnlijkheid en de impact van brand tot een minimum beperken**

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

Er worden enkel cementgebonden materialen en gebruikt zodat de waarschijnlijkheid op en de gevolgen van brand geminimaliseerd zijn.

### **DR25.a Weerstaan aan de statische belastingen**

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

Zie §8.5.3.3.

### **DR25.b Weerstaan aan de dynamische belastingen**

*Van toepassing op: prefab afschermingsplaat*

Zie §8.5.3.3.

## **8.5.3.3 Ontwerpberekeningen**

### **Seismische belasting**

Via berekening werd nagegaan dat de afschermingsplaat weerstaat (geen doorgaande scheuren) aan de DBE350 [OD-198] (§4). Hiertoe moet het beton minstens van druksterkteklasse C40/50 zijn (**Apl03**). Dit wordt gecontroleerd via labo-proeven op proefstukken. Bij de fabricage is er specifieke aandacht nodig voor verdeling en de oriëntatie van de vezels. Dit zal op punt gesteld worden bij de testfase van de

caissonfabriek. Parameters waarop ingespeeld kan worden om de verdeling en oriëntatie van de vezels te beïnvloeden zijn o.a.

- het type vezels,
- de manier en het moment van inbrengen van de vezels in de menger,
- de reologie van het beton (bv. hoeveelheid superplastificeerder),
- de stortsnelheid en stortpositie t.o.v. de mal,
- het uitgevoerde trilplan (duur, positie, sequentie, frequentie, ...).

### Statische en dynamische belasting

De eindige elementen software Ansys wordt voor deze analyse gebruikt.

Enkel het eigengewicht (SW) tijdens het hijsen van de afschermingsplaat moet in rekening gebracht worden. Het eigengewicht van de plaat moet wel worden vermenigvuldigd met een dynamische factor om het transport van de afschermingsplaat met de rolbrug in rekening te brengen. De waarde van deze coëfficiënt ( $\phi_{dyn}$ ) wordt op 1,15 bepaald.

Combinaties van belastingen voor permanente of tijdelijke ontwerpsituaties (fundamentele combinaties):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Waarbij “+” betekent “te combineren met”

$\sum$  betekent “de gecombineerde effecten van”

$G_{k,j}$  kenmerkende waarde van een permanente belasting j

P relevante representatieve waarde van de voorspanningsbelasting (hier niet aanwezig)

$Q_{k,1}$  kenmerkende waarde van de belangrijkste variabele belasting I (hier niet aanwezig)

$Q_{k,i}$  kenmerkende waarde van de bijhorende variabele belasting I (hier niet aanwezig)

$\gamma$  de gebruikte partiële factoren worden weergegeven in de Tabel 8-9

$\Psi_{0,i}$  factoren voor de gecombineerde waarde van een variabele belasting

In deze studie zijn de als fundamenteel beschouwde combinaties beschreven in Tabel 8-10.

Indien de afschermingsplaat klassiek gewapend zou zijn, komt de wapening overeen met  $\Phi 10/15$  cm in beide richtingen. Dit wordt vertaald naar een type vezel en vezelinhoud uitgedrukt in  $\text{kg/m}^3$  (**Apl10**). De vezelinhoud wordt gecontroleerd door weging. Er wordt gestreefd naar een *strain hardening* gedrag (zie HS05, §5.5.1.2.1).

De hijspunten zelf hebben dezelfde vorm als de monoliet en zijn overgedimensioneerd (de massa van de afschermingsplaat is immers veel lager dan die van een monoliet).

**Tabel 8-9: Partiële factoren  $\gamma$ .**

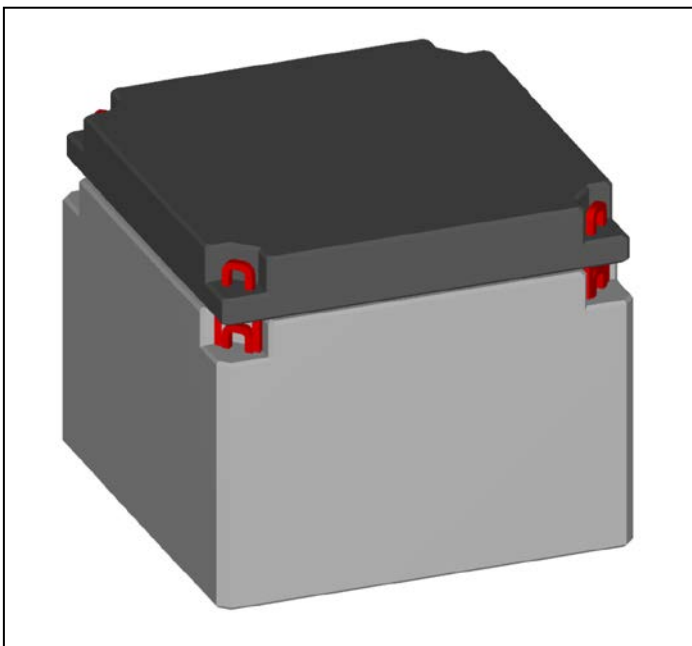
| Partiële factor                | Normale veiligheidsklasse CC2 |
|--------------------------------|-------------------------------|
| $\gamma_{G,j,sup}$ (ongunstig) | 1,35                          |
| $\gamma_{G,j,inf}$ (gunstig)   | 1,00                          |

**Tabel 8-10: Fundamentele combinaties.**

|            |           | SW          |
|------------|-----------|-------------|
| <b>UGT</b> | Gunstig   | 1,00 * 1,15 |
|            | Ongunstig | 1,35 * 1,15 |

#### 8.5.3.4 Beschrijving van het ontwerp

De afschermingsplaten (zie Figuur 8-12) zijn gemaakt van vezelversterkt beton, zie §5.5 van HS05. De vier zijden van de afschermingsplaten zijn even lang en meten 1966 mm (in vergelijking met 1946 mm voor de zijden van de monolieten). De afschermingsplaten hebben een dikte van 30 cm (zie §2.1.1.3 in [OD-058]). De hijspunten hebben een vorm en een positie die compatibel is met de grijper. Het materiaal is niet noodzakelijk hetzelfde als dat van de hijsankers van de monolieten.



**Figuur 8-12: Afschermingsplaat bovenop een monoliet.**

### 8.5.4 Funderingen

Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste SSC's van de fundering, uitgezonderd de geotechnische kenmerken van de site zelf die vermeld zijn in HS04, §4.7, o.a. gebaseerd op [OD-086]. De SSC's zijn:

- Drainagelaag, samengesteld uit
  - ▶ grindlaag
  - ▶ geosynthetische folies (geotextiel en geogrid)
- Zand-cement ophoging
- Grondverbetering met bentoniet

#### 8.5.4.1 Specifieke ontwerpnormen en voorschriften

De berekening van het **draagvermogen van de fundering** is gebaseerd op Eurocode 7:

- Europese norm, Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels, Eurocode 7, 2005.

#### Geotextiel

- De opgelegde kenmerken stemmen overeen met de vereisten, gespecificeerd in de technische aanbevelingen PTV 829 voor grondverzet (ophogingen op samendrukbare grond) en spoorwegbouw (bodemsamenstelling) en de Belgische normen NBN EN 13249 en NBN EN 13251.

#### Geomembraan

- Volgens NBN EN 13493.

#### Geogrid

- Geogrids moeten voldoen aan de specificaties voor geogrids voor Type II onderfundering volgens de standaardspecificaties "standaardbestek 250".

#### 8.5.4.2 Ontwerpvereisten

De ontwerpvereisten van toepassing op de funderingen zijn gegeven in Tabel 8-11 (hernomen uit Bijlage 2).

Tabel 8-11: Ontwerpvereisten van toepassing op de funderingen.

| SSC                          | Ontwerpvereisten (DR) |   |     |    |      |      |      |      |      |    |      |
|------------------------------|-----------------------|---|-----|----|------|------|------|------|------|----|------|
|                              | 3                     | 8 | 9.b | 10 | 12.a | 12.b | 16.b | 19.a | 19.c | 20 | 25.a |
| <b>8. Funderingen</b>        |                       |   |     |    |      |      |      |      |      |    |      |
| Zand-cement                  | X                     | X | X   | X  | X    | X    |      | X    |      | X  | X    |
| Drainagelaag                 |                       |   |     | X  | X    | X    |      |      | X    |    | X    |
| Site zand egalisatie         |                       |   |     |    |      |      |      |      |      |    | X    |
| Grondverbetering (bentoniet) | X                     |   |     | X  |      |      |      |      |      |    | X    |

### DR3 Aanwezigheid van chemische retentie in het bergingssysteem in componenten waarheen de radionucliden kunnen migreren

Van toepassing op: zand-cement, grondverbetering (bentoniet)

Chemische retentie op cement gebaseerde materialen in de funderingen gebeurt op uitgeharde cementpasta [OD-038], [OD-107].

Het cementgehalte van het zand-cement in de funderingen moet nominaal minstens 5 gew% bedragen (**Fun01**) (Coherentie met de hypothesen van de veiligheidsevaluaties HS14, zie tabel 14-29 in §14.4.3.7.7.3). Het conformiteitscriterium wordt geverifieerd door weging tijdens de aanmaak in de

mengcentrale en door analyse (achteraf) op stalen. De zand-cement laag heeft nominaal een laagdikte van minstens 2 m (**Fun02**), wat gecontroleerd wordt door topografische opmetingen tijdens de uitvoering.

Het bentoniet dat ingefreesd wordt in de aanwezige zandlaag onder de drainagelaag kan bijdragen tot chemische retentie. Aangezien deze SSC slechts een C-rol vervult voor de veiligheidsfunctie R3 wordt er geen conformiteitscriterium opgelegd. De vooropgestelde hoeveelheid in te frezen bentoniet werd vastgelegd op 4 +/-1 gew%, waarbij een evenwicht werd nagestreefd tussen de mogelijke bijdrage tot chemische sorptie en de hydraulische en mechanische eigenschappen van de verbeterde zandlaag.

#### **DR8 Hoge dispersiviteit**

Van toepassing op: zand-cement

Een hoge dispersiviteit van de zand-cement ophoging bevordert de verspreiding van radionucliden in dit sorberende materiaal. Dit wordt bereikt door het gebruik van een poreus medium; het referentiemateriaal voor deze component is zand + 5% cement.

#### **DR9.b Aanvaardbare samenstelling van de aggregaten met het oog op het vermijden van alkali-aggregaat-reacties**

Van toepassing op: zand-cement

Alkali-silica reacties in de zand-cement ophoging worden vermeden door

- het gebruik van niet-reactieve aggregaten in het kader van ASR problematiek – Normen ASTM C 1260 (*Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*) of equivalent en ASTM C 1293 (*Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction*) of equivalent. De eisen volgens deze twee testen zijn respectievelijk een expansie < 0,10 % op 16 dagen (**Fun12**) en een expansie < 0,04 % op één jaar (**Fun13**);
- het gebruik van een CEM III/C (**Fun05**), dit wordt geverifieerd in documenten van de leveranciers en door controles.

#### **DR10 Compatibele materialen gebruiken**

Van toepassing op: zand-cement, drainagelaag, grondverbetering (bentoniet)

De compatibiliteit van de materialen van de zand-cement ophoging en de drainagelaag is verzekerd aangezien enkel materialen op basis van cement uit de CEM-reeks van NBN EN 197 worden gebruikt. De gebruikte cementsoorten moeten compatibel zijn met calcium-silicaat-cement wat per definitie zo is aangezien enkel calcium-silicaat-cementen gebruikt worden. Voor het aspect ASR in de zand-cement ophoging: zie DR9.b.

Het materiaal van de geotextielen, geomembranen en geogrids is (HD)PE. Deze materialen zijn compatibel met de rest van de SSC's (zie HS05 §5.13).

De hydraulische en mechanische eigenschappen van het bentoniet in de grondverbetering zijn compatibel met de andere SSC's. De hydraulische geleidbaarheid moet hoog genoeg zijn opdat het water door de sorptiebarrière zou stromen i.p.v. er bovenop af te stromen. Daarom wordt enerzijds een weinig-zwellend type bentoniet gebruikt (Calcium-bentoniet) en wordt anderzijds de toevoeging beperkt tot 4 gew% +/- 1 gew% (**Fun11**). Labo-proeven hebben uitgewezen dat de hydraulische geleidbaarheid in dat geval daalt van grootteorde  $10^{-4}$  m/s tot grootteorde  $10^{-6}$  à  $10^{-7}$  m/s [56], wat aanvaardbaar is. Dit zal gecontroleerd worden door laboproeven zoals bv. beschreven in bijlage D van [R8-12].

#### **DR12.a Weerstaan aan de DBE350**

*Van toepassing op: zand-cement, drainagelaag*

Via berekening werd nagegaan dat de zand-cementophoging en de drainagelaag weerstaan aan de DBE350, zie §8.5.4.3. Criteria **Fun09** en **Fun10** zijn omhullend.

#### **DR12.b Weerstaan aan de DBE50**

*Van toepassing op: zand-cement, drainagelaag*

Via berekening werd nagegaan dat de zand-cementophoging en de drainagelaag weerstaan aan de DBE50, zie §8.5.4.3. Criteria **Fun09** (voor zand-cementophoging en drainagelaag) en **Fun10** (voor zand-cement ophoging) zijn omhullend.

#### **DR19.a De bovenzijde van de funderingen moet zich boven het bereik van oppervlakte- en grondwater bevinden**

*Van toepassing op: zand-cement*

De omhullingskromme van het overstromingsrisico voor een jaarlijkse probabiteit van  $10^{-7}$  resulteert in een waarde van 24,8 mTAW (zie HS04, §4.6.1.3.3). Het maximaal gesimuleerde waterpeil in de buurt van de site veroorzaakt door een dijkbreuk komt overeen met 25,2 mTAW. Grondwaterpeilen zijn lager – maximaal 25,0 mTAW (zie HS04, §4.6.2.7). Het minimale niveau van de bovenzijde van de funderingen bedraagt dus 25,2 mTAW (**Fun06**). De bovenzijde van de zand-cement ophoging wordt afgewerkt op een hoogte van 28,0 mTAW. Dit wordt geverifieerd door topografische opmeting.

#### **DR19.c Vermijden van capillaire opstijging**

*Van toepassing op: drainagelaag*

Aangezien de belangrijkste functie van het grind het verminderen van capillaire opstijging is, worden criteria opgelegd aan de fijne fractie van dit materiaal. Bovendien moet het materiaal voldoende slijt- en schuurvast zijn om degradatie onder invloed van de toegepaste belastingen te voorkomen. Als bescherming tegen capillaire opstijging is besloten de grindlaag te plaatsen op een niveau van 25,4 mTAW. Om dit zelfs bij een maximale totale zetting (ongeveer 33 cm in het Plaxis 3D model) te waarborgen, blijft de grindlaag volledig boven de freatische grondwaterafel; het maximum waterniveau bedraagt 25,0 mTAW (zie HS04, §4.6.2.7). De volgende eisen worden opgelegd en geverifieerd in documenten van de leveranciers en door controles:

- Korrelgroottedistributie (**Fun07**):  $0/56$ ,  $D_{50}$  tussen 10 en 35 mm en gehalte aan fijne deeltjes  $\leq 3\%$  (categorie  $f_3$  of lager PTV 411)
- Slijt- en schuurvastheid (**Fun08**): Los Angeles Index (LA)  $\leq 30$ , Micro-Deval ( $M_{DE}$ )  $\leq 25$  en  $LA + M_{DE} \leq 45$

#### **DR20 Een anti-badkuipsysteem moet geïnstalleerd worden**

*Van toepassing op: zand-cement*

Het ontwerp bevat een anti-badkuipsysteem (ABS). Opdat dit goed zou werken, is volgens [OD-281], §7 een minimale hydraulische geleidbaarheid van  $10^{-6}$  m/s voor de zand-cement ophoging aangewezen (**Fun03**). Dit wordt getest test volgens norm NBN ISO/TS 17892-11 op kernen ontnomen uit het werk.

#### **DR25.a Weerstaan aan de statische belastingen**

*Van toepassing op: zand-cement, drainagelaag, site zand egalisatie, grondverbetering (bentoniet)*

De statische belasting werd gevalideerd door berekening, zie §8.5.4.3. Om de draagkracht te garanderen wordt voor de verschillende lagen een voldoende verdichting vereist die gecontroleerd wordt via plaatproeven volgens meetmethode OCW 40/78 of meting met de lichte slagsonde volgens meetmethode OCW 39/78 (zand-cement). De samendrukbaarheidsmodulus M1 (plaatproeven) bedraagt minimaal 17 MPa en bij de proef met de slagsonde wordt er geëist dat de gemiddelde indringing over de gehele diepte, per laag van 10 cm van de ophoging  $\leq 40$  mm/slag is (**Fun09**). Om tijdens de bouwfase te weerstaan aan de statische belastingen moet de cohesie van de zand-cement minstens 6 kPa bedragen (**Fun10**). Door toevoeging van 5 % cement wordt een cohesie bereikt van grootteorde 200 kPa. De controle van dit criterium zal dus gebeuren door meting van het cementgehalte.

Voor de grondverbetering tonen proeven met bentoniet-gehaltenes tot 10 gew% aan dat er bij dergelijk percentage bentoniet geen invloed is op de draagkracht van de laag (§4.3 [OD-166]). Hoewel niet uitgesloten is dat dit ook het geval is voor hogere percentages, wordt een criterium opgelegd op het maximaal bentonietgehalte, nl. 10 gew% (**Fun11** is omhullend).

### 8.5.4.3 Ontwerpberekeningen

#### Seismische belastingen

De weerstand tegen seismische belastingen werd nagegaan in [OD-158], appendix 1 §9.4. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van hetzelfde pseudo-statische model waarmee de stabiliteit van de afdekking berekend wordt (zie §8.5.7.3). Tabel 8-12 vat de resultaten samen, de stabiliteit is gegarandeerd.

**Tabel 8-12: Berekende veiligheidsfactoren voor de PLAXIS-berekening van de funderingen (op basis van appendix 1 aan [OD-158]).**

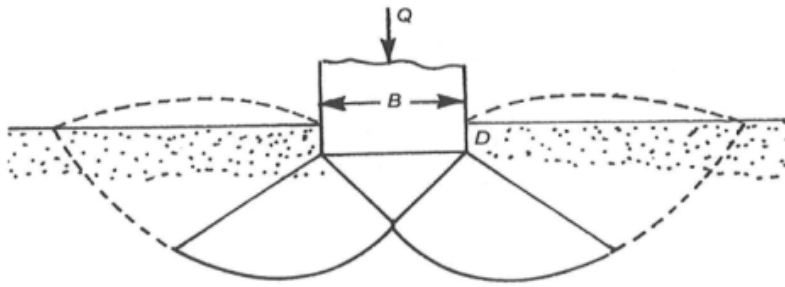
| Beschouwde belasting            | Drainagelaag (grind)         | Zand-cement                  |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Pseudo-statische analyse DBE50  | $\geq 1,60$ (zie Tabel 8-23) | $\geq 1,60$ (zie Tabel 8-23) |
| Pseudo-statische analyse DBE350 | 2,26                         | 1,79                         |

#### Statische belastingen

Aangezien tijdens de constructie en exploitatiefasen van de berging grote lasten aangrijpen op de onderlaag, is het noodzakelijk om de draagkracht ervan tijdens al deze fasen te verifiëren. De draagkracht moet voldoende groot zijn om faling van de ondergrond te vermijden: de grond mag niet zijdelings worden weggeperst van onder de structuren.

In §4.6 van [OD-166] wordt de draagkracht beoordeeld.

Volgens Eurocode 7 kan de draagkracht van de ondergrond berekend worden aan de hand van een analytische formule voor de berekening van de draagkracht van een fundering op staal. Dit is een ondiepe fundering waarvoor geldt dat de diepte (D) kleiner is dan breedte (B). De formule gaat uit van een zijdelingse wegpersing van de grond volgens bepaalde schuifvlakken, waarna er een significante verplaatsing, meestal een kanteling naar één kant, van de structuur optreedt [R8-3]. Dit principe is geïllustreerd in Figuur 8-13.



Figuur 8-13: Schematische voorstelling van het principe ter bepaling van de draagkracht van een ondiepe fundering [R8-3].

In de analytische formule voor het berekenen van de draagkracht, wordt rekening gehouden met de effectieve cohesie, de effectieve wrijvingshoek en het effectieve volume-gewicht van de ondergrond, en met de aanzetdiepte, de vorm (inclusief de verhouding breedte/lengte) en de helling van de kracht die aangrijpt op de structuur. In Eurocode 7 wordt het **draagvermogen**  $q_{ult}$  van een zand-cement ophoging gegeven door:

$$q_{ult} = s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot c' \cdot N_c + s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot \gamma' \cdot D \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma$$

waarbij:

- $s_c, s_q, s_\gamma$  vormfactoren zijn;
- $d_c, d_q, d_\gamma$  dieptefactoren zijn;
- $i_c, i_q, i_\gamma$  hellingsfactoren zijn;
- $N_c, N_q, N_\gamma$  draagvermogenfactoren zijn;
- $c'$  de effectieve cohesie van de bodem is;
- $\gamma'$  het effectieve volumegewicht van de bodem is;
- $B$  de breedte van de fundering is;
- $D$  de diepte van de fundering is.

Vervolgens wordt de draagkracht van de ondergrond voor de desbetreffende fundering vergeleken met de belasting die erop zal aangrijpen. Hierbij moeten, afhankelijk van de toegepaste ontwerpmethode<sup>13</sup>, bepaalde veiligheidsfactoren in rekening genomen worden.

De controle van de draagkracht van de bergingsinstallatie gebeurde voor drie fasen, die als uiterste situaties kunnen worden beschouwd:

- de constructie van de muren;
- het vullen van een bergingsmodule;
- het aanbrengen van de afdekking.

<sup>13</sup> Methodes DA1-1, DA1-2, DA2 en DA3 volgens Eurocode 7



De breedte van de structuur in elk van deze fasen bepaalt telkens de invloedsdiepte. Deze geeft aan voor welke lagen van de ondergrond de karakteristieken in de berekening opgenomen moeten worden.

Een vergelijking tussen de belastingen en het draagvermogen wordt vervolgens gemaakt voor alle vier combinaties van belastingsgevallen beschouwd door Eurocode 7. De belastingsgevallen en de partiële factoren, zoals voorgeschreven door Eurocode 7, zijn weergegeven in Tabel 8-13. Er moeten geen variabele lasten beschouwd worden.

**Tabel 8-13: Belastingsgevallen en partiële factoren voor het bepalen van het draagvermogen van de zand-cement ophoging en de onderliggende lagen volgens Eurocode 7.**

| Belastingsgevallen | Acties            | Materiaal |         | Draagvermogen |
|--------------------|-------------------|-----------|---------|---------------|
|                    | Permanente lasten | Wrijving  | Cohesie |               |
| DA1-1              | 1,35              | 1         | 1       | 1             |
| DA1-2              | 1                 | 1,25      | 1,25    | 1             |
| DA2                | 1,35              | 1         | 1       | 1,4           |
| DA3                | 1,35              | 1,25      | 1,25    | 1             |

De meest nadelige situatie blijkt deze te zijn vlak na het installeren van de muren. In dat geval is de breedte van de structuur beperkt, terwijl de belasting toch aanzienlijk is <sup>14</sup>. Door de beperkte invloedsdiepte spelen in dit geval enkel de karakteristieken van de zand-cement ophoging een rol. Dit is schematisch weergegeven Figuur 8-14.

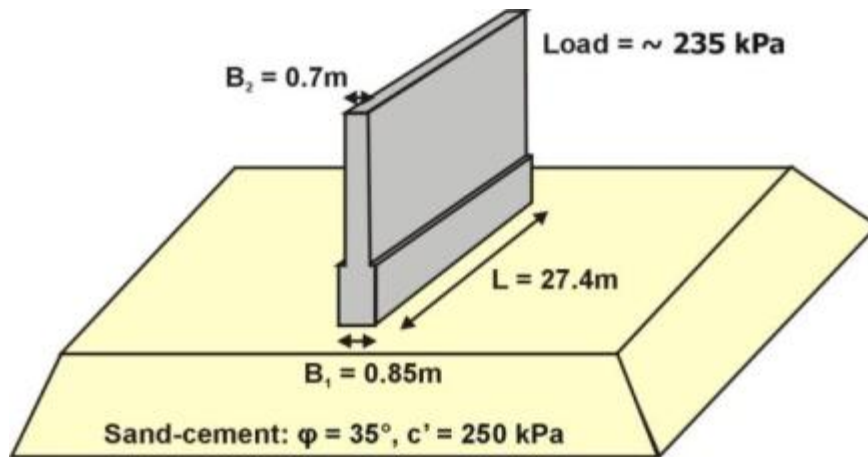
De berekeningen geven aan dat de ondergrond voldoende draagkracht bezit om de belasting op te nemen tijdens de verschillende constructie- en exploitatiefasen van de berging. Met andere woorden, voldoende veiligheid tegen falen van de ondergrond wordt bereikt. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij de meest nadelige fase (d.i. de constructie van de muren) een gewone zandophoging in plaats van een zand-cement ophoging onder de modules een te lage draagkracht zou leveren op basis van bovenstaande (conservatieve) berekening. Echter, door het toevoegen van cement verhoogt de cohesie van de onderlaag en wordt voldoende draagkracht bereikt.

Potentiële lokale afwijkingen van geotechnische karakteristieken van de ondergrond zullen geen invloed hebben op het draagvermogen van de ondergrond. Deze wordt immers berekend volgens [R8-4] aan de hand van een uitmiddeling van de grondkarakteristieken over de invloedzone van fundering, zoals beschreven in §4 van [OD-086]. Bijkomend beschikt elke module over een groot funderingsoppervlak <sup>15</sup>. Aangezien er niet gewerkt wordt met individuele zolen, stroken of palen, worden de gevolgen van lokale anomalieën in de ondergrond uitgevlakt. Dit effect wordt bovendien versterkt door de aanwezigheid van de ophoging van zandcement, die zorgt voor een spreiding van de lasten over een nog grotere zone.

<sup>14</sup> Beperkte dikte van de muren ten opzichte van een aanzienlijk gewicht ten gevolge van de betonkolom die de muur vormt

<sup>15</sup> d.i. funderingsplaat van 27,4 m x 25,4 m

Een Plaxis 2D modellering wordt gebruikt om de spanning te berekenen in de **geosynthetische folies** (zie §4.4.4 van [OD-166]). Een doorsnede loodrecht op de lengteas van de constructie wordt gemodelleerd. Aangezien in deze doorsnede de bergingsinstallaties symmetrisch is, wordt enkel de helft van de structuur gemodelleerd. Geschikte randvoorwaarden aan de linkerkant van het model verzekeren een correct symmetrisch gedrag. Door het combineren van de resultaten van de Plaxis-modellering met de nodige veiligheidsfactoren, is het mogelijk om de sterkte-eigenschappen van de voorgestelde geosynthetische folies te evalueren. Voor elke fase wordt de maximale axiale kracht (in kN/m) verkregen uit het model. De maximale krachten na het in rekening brengen van de nodige veiligheidsfactoren, bedragen 2,4 kN/m voor het geotextiel en 34,4 kN/m voor het geogrid.



Figuur 8-14: Schematische voorstelling van de constructiefase van één van de muren van een bergingsmodule. Deze situatie blijkt de meest nadelige te zijn in de controleberekening van de draagkracht.

#### 8.5.4.4 Beschrijving van het ontwerp

De **grondverbetering (bentoniet)** bestaat uit het infrezen van 4 +/- 1 gew% Calcium-bentoniet in het bovenste gedeelte van de aanwezige zandlaag (diepte ~ 0,4 m, tussen 25,0 en 25,4 mTAW).

De drainagelaag bestaat uit een **grindlaag** met een dikte van ongeveer 60 cm en geosynthetische folies. Het is de bedoeling om capillaire opstijging en verzadiging van de zand-cement ophoging te voorkomen. Een tussenliggend geogrid zal worden geplaatst om deze laag te versterken en een geotextiel zal worden gebruikt om het binnendringen van fijne materialen van boven en van onder te verhinderen. De grindlaag heeft een dikte van 60 cm en de bovenzijde ligt dus initieel op 26 mTAW.

Het **geotextiel** moet een adequate scheiding tussen het grind en de omringende materialen vormen, dat wil zeggen met het zand onderaan en de zand-cement ophoging bovenaan. Een niet-geweven geotextiel werd gekozen. Referentiematerialen die kunnen gebruikt worden: (HD)PE of PP (voorstel van de aannemer via technische fiches en goedkeuring door NIRAS). De opgelegde treksterkte bedraagt 25 kN/m. Dit is voldoende volgens de maximale axiale krachten die berekend werden met het Plaxis-model.

De belangrijkste functies van het **geogrid** zijn het verbeteren van de grondweerstand en het spreiden van de belasting van puntbelastingen of lasten die op een klein oppervlak ingrijpen (bijvoorbeeld wegbelasting, belasting van de kraan, ...). Een biaxiaal geogrid met een treksterkte van ten minste

40 kN/m is geselecteerd. Referentiematerialen die kunnen gebruikt worden: (HD)PE of PP (voorstel van de aannemer via technische fiches en goedkeuring door NIRAS).

Voor de rol, eigenschappen en verwacht gedrag van de geosynthetische materialen in de funderingen: zie ook HS05, §5.13.1.

De **zand-cement ophoging** heeft een dikte van 200 cm (initiële niveaus: van 26,0 mTAW tot 28,0 mTAW). Een gewichtspercentage van minstens 5 % cement (met BENOR certificaat) wordt gebruikt. De herkomst van het zand zal niet opgelegd worden in de bestekken maar er zullen wel eisen worden opgenomen (zie §8.5.4.2). Waar het zand-cement niet tegen carbonatatie door atmosferische CO<sub>2</sub> beschermd is (bv. door de aanwezigheid van beton), wordt het afgedekt door een **geomembraan**. Het referentiemateriaal is (HD)PE. De (onder)aannemer zal via technische fiches een voorstel doen dat al dan niet goedgekeurd wordt door NIRAS.

## **8.5.5 Inspectiegalerij, drainagesysteem en anti-badkuipsysteem (ABS)**

### **8.5.5.1 Specifieke ontwerpnormen en voorschriften**

Voor de betonnen inspectiegalerij:

- IDEM als de modules

Voor het drainagesysteem gebeurde het ontwerp volgens de regels van de goede praktijk, waarbij als ondersteunende documenten de volgende normen gehanteerd werden:

- EN 12201: Kunststofleidingssystemen voor drinkwatervoorziening en voor drainage en drukriolering - Polyetheen (PE)
- EN 1092: Flenzen en hun verbindingen - Ronde flenzen voor buizen, afsluiters, hulpstukken en toebehoren, PN-aanduiding
- EN 13121: Bovengrondse tanks en vaten van met glasvezel versterkte kunststoffen (GVK)
- EN 12056-3: Binnenriolering onder vrij verval - Deel 3 : Ontwerp en berekening van hemelwaterafvoersystemen

### **8.5.5.2 Ontwerpvereisten**

De ontwerpvereisten van toepassing op de inspectiegalerij, drainagesysteem en anti-badkuipsysteem zijn gegeven in Tabel 8-14 (hernomen uit Bijlage 2).

Tabel 8-14: Ontwerpvereisten van toepassing op de inspectiegalerij, drainagesysteem en anti-badkuipsysteem.

| SSC  | Ontwerpvereisten (DR) |     |     |   |     |     |   |    |    |      |      |      |    |    |    |      |      |
|--|-----------------------|-----|-----|---|-----|-----|---|----|----|------|------|------|----|----|----|------|------|
|  | 1.a                   | 1.b | 1.c | 3 | 5.f | 6.a | 8 | 10 | 11 | 16.a | 16.b | 19.b | 20 | 21 | 22 | 25.a | 25.d |
| <b>6. Modulebasis</b>                                    |                       |     |     |   |     |     |   |    |    |      |      |      |    |    |    |      |      |
| ABS in ondersteunende plaat                              |                       |     |     |   | X   | X   |   | X  |    |      |      |      | X  | X  | X  |      |      |
| Drainagesysteem  |                       |     |     |   |     |     |   | X  |    | X    | X    |      |    |    |    |      |      |
| Leidingen in ondersteunende plaat                        |                       |     |     |   |     |     |   | X  |    | X    | X    |      |    |    |    |      |      |
| Transparante container                                   |                       |     |     |   |     |     |   | X  |    | X    | X    |      |    |    |    |      |      |
| Vloer van inspectieruimte (funderingsplaat)              |                       |     |     |   |     |     |   | X  |    | X    | X    |      |    |    |    |      |      |
| Hoofdleiding in inspectieruimte                          |                       |     |     |   |     |     |   | X  |    | X    | X    |      |    |    |    |      |      |
| Opslagtanks in WCB                                       |                       |     |     |   |     |     |   | X  |    | X    | X    |      |    |    |    |      |      |
| ABS in verbindingstunnels                                |                       |     |     |   | X   | X   |   | X  |    |      |      |      | X  | X  | X  |      |      |
| <b>7. Inspectiegalerij / Opge vulde inspectiegalerij</b> | X                     | X   | X   | X | X   | X   | X | X  | X  |      |      | X    |    | X  | X  | X    | X    |

**DR1.a Over barrières beschikken om intrusie te voorkomen**

*Van toepassing op: inspectiegalerij / opge vulde inspectiegalerij*

De toegang tot de inspectiegalerij wordt beperkt door toegangscontrole.

Bij de sluiting worden de eerste meters aan beide zijdes van de inspectiegalerijen opge vuld met een cohesief materiaal (in de praktijk: beton) wat de waarschijnlijkheid van onopzettelijke menselijke intrusie vermindert. De rest van de inspectiegalerijen wordt opge vuld met zand-cement (deel ter hoogte van de modules) of zand (overig deel).

**DR1.b Weinig waardevolle materialen gebruiken**

*Van toepassing op: inspectiegalerij / opge vulde inspectiegalerij*

De inspectiegalerij en het opvulmateriaal van de inspectiegalerij zijn gemaakt op basis van cement en courante granulaten, die weinig waarde hebben voor een mogelijke indringer. Het staal van de wapening van de inspectiegalerij is potentieel attractief maar is nodig voor de stabiliteit.

**DR1.c Toegang tot de inspectieruimte beperken**

*Van toepassing op: inspectiegalerij / opge vulde inspectiegalerij*

Zie DR1.a.

**DR3 Aanwezigheid van chemische retentie in het bergingssysteem in componenten waarheen de radionucliden kunnen migreren.**

*Van toepassing op: inspectiegalerij / opge vulde inspectiegalerij*

Chemische retentie op cement gebaseerde materialen gebeurt op volgende twee materialen [OD-038], [OD-107]:

- Uitgeharde cementpasta;
- Kalksteen (aggregaten, toeslagmaterialen, chemische toestand IV i.e. eindproduct van gehydrateerde cementpasta bij carbonatatie).

Het opvulmateriaal van de inspectiegalerij moet de gevraagde retardatie-eigenschappen bezitten, i.e. het cementgehalte moet minstens dat van de zand-cementophoging zijn en dus 5 gew% bedragen (**Gda01**), zie (zie HS14, §14.4.3.1.1 en tabel 14-29 in §14.4.3.7.7.3). Het conformiteitscriterium wordt geverifieerd door weging tijdens de aanmaak in de mengcentrale en door analyse (achteraf) op stalen.

De performantie is ook gerelateerd aan de lengte van potentiële *pathways* doorheen het opvulmateriaal van de inspectiegalerij. De opvulling met zand-cement moet dus minstens boven het niveau van de verbindingstunnels komen (zie ook DR25.d).

#### **DR5.f Voldoende drainage van water tussen de monolietstapels**

*Van toepassing op: ABS in ondersteunende plaat, ABS in verbindingstunnels, inspectiegalerij / opgevulde inspectiegalerij*

Opdat er voldoende drainage van water tussen de monolieten is, moet er een voldoende hoge hydraulische geleidbaarheid zijn in de modulebasis. Zie DR6.a.

#### **DR6.a Een voldoende hoge hydraulische geleidbaarheid hebben in de modulebasis**

*Van toepassing op: ABS in ondersteunende plaat, ABS in verbindingstunnels, inspectiegalerij / opgevulde inspectiegalerij*

De hydraulische geleidbaarheid van het ABS in de ondersteunende plaat moet voldoende hoog zijn, d.w.z. minstens  $10^{-3}$  m/s (**Gda02**). Dit blijkt uit modelberekeningen van het anti-badkuipsysteem (ABS) [OD-281] (§7). Daarom worden de buizen van het ABS door de ondersteunende plaat niet opgevuld tijdens de sluiting.

Opdat het ABS correct zou functioneren moet de hydraulische geleidbaarheid van het opvulmateriaal van de verbindingstunnels hoog genoeg zijn, d.w.z. minstens  $10^{-6}$  m/s (**Gda03**). Dit is hetzelfde criterium als voor het opvulmateriaal van de inspectieruimte (zie § 8.5.1.2). Dit blijkt uit modelberekeningen van het anti-badkuipsysteem (ABS), zie §8.5.5.3. Deze zone wordt opgevuld met zand-cement en het criterium wordt bij de uitvoering gecontroleerd (volgens norm NBN ISO/TS 17892-11) op kernen ontnomen uit het werk en op proefstukken aangemaakt tijdens de uitvoering. De verbindingstunnels zijn uitgerust met een zettingsvoeg. Tijdens de sluiting wordt de aanwezige voegband verwijderd of doorboord zodat water dat via het ABS evacueert langs deze weg kan wegvloeien. De zones net boven en onder de voeg worden opgevuld met grind om de evacuatie van water via deze weg te bevorderen.

Moest het water in het ABS niet de verwachte weg volgen (nl. weglopen via de opengewerkte voegen in de verbindingstunnels) zal het in de opgevulde inspectiegalerij terecht komen. Het opvulmateriaal van de inspectiegalerij vervult dan dezelfde functie als de zand-cement ophoging (zie §8.5.4.2). Bijgevolg moet de hydraulische geleidbaarheid van het opvulmateriaal van de verbindingstunnels hoog genoeg zijn, d.w.z. minstens  $10^{-6}$  m/s (**Gda03**); dit criterium wordt bij de uitvoering gecontroleerd (volgens norm NBN ISO/TS 17892-11) op kernen ontnomen uit het werk en op proefstukken aangemaakt tijdens de uitvoering.

#### **DR8 Hoge dispersiviteit**

*Van toepassing op: inspectiegalerij / opgevulde inspectiegalerij*

Een hoge dispersiviteit van het opvulmateriaal van de inspectiegalerij bevordert de verspreiding van radionucliden in dit sorberende materiaal. Dit wordt bereikt door het gebruik van een poreus medium; het referentiemateriaal voor deze component is zand + 5 gew% cement.

#### **DR10 Compatibele materialen gebruiken**

*Van toepassing op: ABS in ondersteunende plaat, drainagesysteem (leidingen in ondersteunende plaat, transparante container, vloer van inspectieruimte, hoofdleiding in inspectieruimte, opslagtanks in WCB), ABS in verbindingstunnels, inspectiegalerij / opgevulde inspectiegalerij*

De compatibiliteit van de materialen van de opvulmaterialen van de inspectiegalerij en de verbindingstunnels is verzekerd aangezien enkel materialen op basis van cement uit de CEM-reeks van NBN EN 197 worden gebruikt. De gebruikte cementsoorten moeten compatibel zijn met calcium-silicaat-cement wat per definitie zo is aangezien enkel calcium-silicaat-cementen gebruikt worden.

Het materiaal van het drainagesysteem is HDPE, uitgezonderd voor de recipiënten (Plexiglas) en de tanks in het WCB en enkele delen van de drainageleiding (GRE - *Glass reinforced epoxy* - met een RF coating). Deze delen worden bij de sluiting verwijderd. De vul- en ontluuchtingsbuizen zijn eveneens vervaardigd uit HDPE en blijven aanwezig in de finale configuratie. Deze materialen zijn compatibel met de rest van de SSC's. Het achterblijvende deel van het drainagesysteem in de ondersteunende plaat (dat later deel uitmaakt van het ABS) is vervaardigd uit roestvast staal AISI 304 of een materiaal met minstens equivalente weerstand tegen corrosie. Hoewel roestvast staal in dit geval gecombineerd kan worden met de koolstofstalen wapening van de ondersteunende plaat zonder verhoogd risico op corrosie door galvanische koppeling, zal tijdens de constructie direct contact tussen de wapening en de roestvast stalen buis vermeden worden door het gebruik van afstandshouders (vervaardigd uit inerte kunststof).

#### **DR11 Afscherming verzekeren**

Van toepassing op: *inspectiegalerij / opgevulde inspectiegalerij*

In HS12 (§12.7.1) wordt aangetoond dat de dosis opgelopen door werknemers en leden van het publiek tijdens normale exploitatie aanvaardbaar is. De dosisberekeningen houden rekening met de afscherming die geboden wordt door de dikte van de wanden van de inspectiegalerij:

- Dikte wanden inspectiegalerij: nominaal 40 cm (Gda04)

De afmetingen worden geverifieerd op de bekistingsplannen en op de werf.

#### **DR16.a Besmet of mogelijk besmet water apart van niet-besmet water opvangen door gescheiden netwerken**

Van toepassing op: *drainagesysteem (leidingen in ondersteunende plaat, transparante container, vloer van inspectieruimte, hoofdleiding in inspectieruimte, opslag tanks in WCB)*

Het drainagesysteem is onafhankelijk van het algemene systeem van de site om regenwater te collecteren (infiltratiebekkens en infiltratiesloten, zie §8.5.9). Bovendien wordt een module pas aangesloten op de hoofdleiding van het drainagesysteem als de dakstructuur boven deze module volledig afgewerkt is.

#### **DR16.b Besmet of mogelijk besmet water opvangen via zwaartekracht drainage**

Van toepassing op: *drainagesysteem (leidingen in ondersteunende plaat, transparante container, vloer van inspectieruimte, hoofdleiding in inspectieruimte, opslag tanks in WCB)*

De galerij en het drainagesysteem zijn ontworpen om gravitair te functioneren, rekening houdend met de maximaal te verwachten differentiële zettingen. De initiële helling van de galerij is bij de bouw zodanig gekozen dat er steeds een voldoende gravitaire resterende helling van de galerij zal zijn, zijnde 0,3 %. De noodzakelijke initiële helling houdt dus rekening met de (maximaal) verwachte differentiële zettingen en varieert van plaats tot plaats, zie §4.2 van [OD-120] (**Gda05**). De voorziene initiële hellingen voldoen hieraan, variëren tussen 0,5 % en 0,9 % en worden gegeven op het plan 124\_MGW\_GCCO\_004. De helling wordt gecontroleerd door meting tijdens de constructie en periodieke controle tijdens de operationele fase (zie HS16, §16.5.4.1).

Het niveau van de inspectie-openingen is voor alle modules identiek. Dit betekent dat door de grote lengte van de galerij, de hoogte van de galerij moet variëren van het ene einde van de inspectiegalerij naar het andere einde om steeds een minimum helling van 0,3 % voor de hoofdleiding te garanderen. De hoogte varieert van ongeveer 3,4 m voor de modules die zich het dichtst bij het WCB bevinden, tot ongeveer 2,3 m voor de modules geplaatst bij de tegenoverliggende uitgang van de inspectiegalerij (Figuur 8-17).

**DR19.b De toegang van de inspectiegalerij moet zich boven het bereik van oppervlakte- en grondwater bevinden**

*Van toepassing op: inspectiegalerij / opgevlude inspectiegalerij*

De omhullingskromme van het overstromingsrisico voor een jaarlijkse probabilliteit van  $10^{-7}$  resulteert in een waarde van 24,8 mTAW (HS04, §4.6.1.3.3). Het maximaal gesimuleerde waterpeil in de buurt van de site veroorzaakt door een dijkbreuk komt overeen met 25,2 mTAW. Maximale grondwaterpeilen zijn lager (HS04, §4.6.2.7). Het minimale niveau van de toegang van de inspectiegalerij bedraagt dus 25,2 mTAW (**Gda06**), dit wordt geverifieerd op de bekistingsplannen en door metingen op de werf. De toegang van de inspectiegalerij bevindt zich aan het WCB op een hoogte van 25,7 mTAW.

**DR20 Een anti-badkuipsysteem moet geïnstalleerd worden**

*Van toepassing op: ABS in ondersteunende plaat, ABS in verbindingstunnels*

Het ontwerp bevat een anti-badkuipsysteem (ABS).

**DR21 Materialen kiezen die gasproductie in het bergingssysteem voorkomen en de prestaties van het systeem niet schaden**

*Van toepassing op: ABS in ondersteunende plaat, ABS in verbindingstunnels, inspectiegalerij / opgevlude inspectiegalerij*

Gasproductie door de cementgebonden barrières van het bergingssysteem is niet verwacht.

**DR22 Materialen gebruiken die de waarschijnlijkheid en de impact van brand tot een minimum beperken**

*Van toepassing op: ABS in ondersteunende plaat, ABS in verbindingstunnels, inspectiegalerij / opgevlude inspectiegalerij*

Het ABS in de ondersteunende plaat en in de verbindingstunnels en de inspectiegalerij zijn vervaardigd van niet-brandbare materialen (beton en staal).

**DR25.a Weerstaan aan de statische belastingen**

*Van toepassing op: inspectiegalerij / opgevlude inspectiegalerij*

De inspectiegalerij is ontworpen om de statische belasting van de bovenliggende SSC's te weerstaan. De minimale hoeveelheden wapening zijn gegeven in figuren 7 tot en met 16, 18 en 19 van [R8-44] (**Gda07**) en wordt geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten. De druksterkteklasse van het beton moet minstens C40/50 bedragen (**Gda08**) en wordt geverifieerd volgens NBN EN 206-1. De vloeigrens van het wapeningsstaal is  $\geq 500$  MPa (**Gda09**) en wordt geverifieerd op materiaal fiches en door testen.

**DR25.d De aanwezigheid van lege ruimtes in de installatie beperken**

*Van toepassing op: inspectiegalerij / opgevlude inspectiegalerij*

Om de lege ruimtes in de installatie te beperken worden tijdens de sluitingsfase de inspectiegalerij en de verbindingstunnels opgevuld. Dit gebeurt met zand (gedeelte van de galerij voorbij de modules), zand-cement (gedeelte tussen de modules) of beton (eerste en laatste meters van de galerij) waardoor een hoge opvullingsgraad kan bekomen worden. Er wordt een volledige opvulling nagestreefd. Beperkte niet-opgevulde ruimtes bovenaan de inspectiegalerij hebben geen invloed op de stabiliteit van het systeem of op de verwachte stromingspaden van water/radionucliden doorheen het systeem. Als criterium wordt een opvulgraad van 95 vol% opgelegd (**Gda10**), waarbij de porositeit van het materiaal niet beschouwd wordt. Dit wordt geverifieerd door een meting van het volume van de ingebrachte materialen en is omhullend voor de eis dat het zand-cement minstens boven het niveau van de verbindingstunnels moet komen (zie DR3).

### 8.5.5.3 Ontwerpberekeningen

#### Drainagesysteem

Het dimensionerende geval is een defect in het stalen dak. De ontwerphypothese is de afwezigheid van het dak van een complete module. De regenintensiteit werd geschat zoals beschreven in [OD-166], §12.3.

Een conservatieve benadering werd gebruikt om de jaarlijkse condensatie te schatten in een module aan de hand van analytische formules. Het beton wordt beschouwd als "neutraal" in de uitwisseling van water: alleen oppervlakkige uitwisselingen worden beschouwd zonder enig effect van het beton op verzadigingsdruk [OD-233], annex 1.

Het volume van de opvangtanks is gebaseerd op een terugkeerperiode van 10 jaar en een regenperiode van 3 dagen (interventietijd voor het dak).

De evaluatie resulteert in een vereist volume van 49,6 m<sup>3</sup> voor het te dimensioneren belastingsgeval. De andere potentiële belastingsgevallen zijn condensatie en water dat door de afdekking dringt:

- Met een conservatieve benadering wordt de jaarlijkse condensatie in een module geschat op minder dan 2,5 m<sup>3</sup> [OD-233], annex 1. In werkelijkheid wordt een veel kleiner volume verwacht.
- Tijdens fase Ib wordt geen water verwacht in het drainagesysteem. Water dat zich in de afdekking bevindt kan weliswaar door suctie opgenomen worden door de betonnen SSC's maar zal enkel de saturatiegraad van het beton verhogen zonder aanleiding te geven tot water in het drainagesysteem (zie HS14, §14.3.2.3).

De gevolgen van een grotere dan design regenintensiteit (terugkeerperiode van 10 000 a) werden in het kader van de stress test bepaald en zullen beschreven worden in de update van [R8-31].

#### Anti-badkuipsysteem (ABS)

[OD-281] beschrijft de analyse die uitgevoerd werd omtrent de werking van het ABS. De analyse gebruikt een 2D FEFLOW eindige-elementen model. Uitgaande van een waterindringing in de modules van 480 mm/a wordt gekeken bij variërende materiaaleigenschappen van de diverse componenten of het badkuip effect wel/niet optreedt. Er wordt aangetoond dat het ABS – met de parameters zoals opgelegd in §8.5.5.2- het badkuip effect vermijdt.



#### 8.5.5.4 Beschrijving van het ontwerp

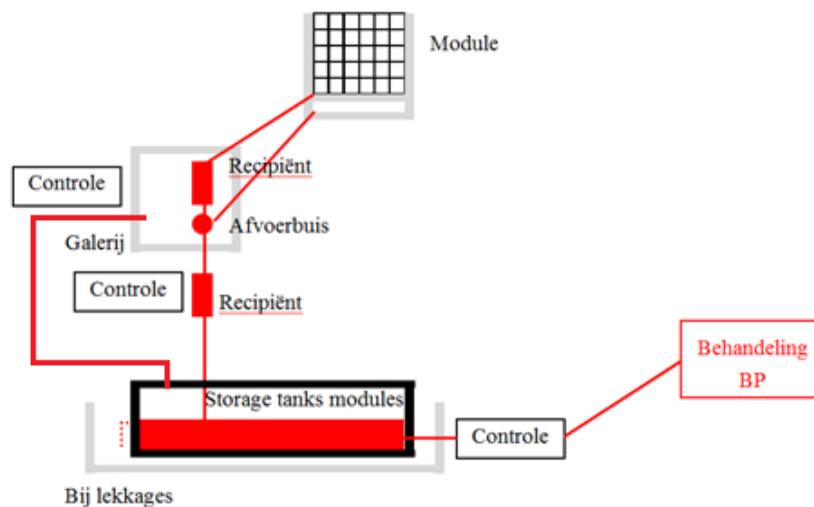
##### Drainagesysteem – leidingen en WCB

Het drainagesysteem is onafhankelijk van het algemene systeem van de site om regenwater te collecteren (infiltratiebekkens en infiltratiesloten, zie §8.5.9).

Het geïncollecteerde water in het systeem kan afkomstig zijn van een van de volgende bronnen:

- Condenswater in de module en de galerij
- Accidentele infiltratie doorheen de dichtingen van de galerij.
- Defect in het stalen dak.
- Waterinsijpeling doorheen de afdekking.

Het principe wordt weergegeven in het schema van Figuur 8-15. Voor een beschrijving en justificatie van de monitoring van het drainagewater wordt verwezen naar §16.6 van HS16. Zoals bij elke vorm van monitoring moet men rekening houden met een zekere detectielimiet, zo ook bij het drainagesysteem. Het drainagesysteem zal bijgevolg in staat zijn om vanaf een zekere omvang waterindringing in de module te detecteren. NIRAS wenst te vermijden dat water zich ophoopt aan de basis van de monolieten. Het drainagesysteem garandeert dat water dat in de module zou binnendringen gedetecteerd en afgevoerd wordt, met uitzondering van lokale, ondiepe plassen in functie van lokale oneffenheden van het oppervlak van de plaat<sup>16</sup>.



Figuur 8-15: Principe van het drainagesysteem.

De nominale tussenruimte tussen de monolietstapels onderling en tussen de monolietstapels en de modulewanden bedraagt 5 cm. Het betekent dat de gootjes (zie verder) deels afgedekt worden door de

<sup>16</sup> Dit is een van de redenen waarom er eisen opgelegd worden aan de vlakheid van het afgewerkt oppervlak van de ondersteunende plaat, met name de strengste vlakheidsklasse van industriële vloeren zoals beschreven in TV 204 [R8-25], met name Type I.

onderste monolieten maar dit beïnvloedt hun werking niet. Deze tussenruimten worden opgevuld met fijn grind.

Gezien de beoogde werking van het drainagesysteem, is de goede werking ervan onafhankelijk van zettingen van de verwachte grootteorde. Zettingen zijn een natuurlijk fenomeen maar werden in dit project zeer in detail bestudeerd [OD-120]. Los van de resterende onzekerheid op de absolute waarde van de zettingen, is er weinig onzekerheid over het feit dat de modules (lichtjes) in de richting van de inspectiegalerij zullen hellen na zetting.

Het drainagesysteem dat geïnstalleerd is in de inspectiegalerij (zie Figuur 8-16) maakt het mogelijk om water, afkomstig van de inspectieruimte en de module zelf, te verzamelen via twee wegen:

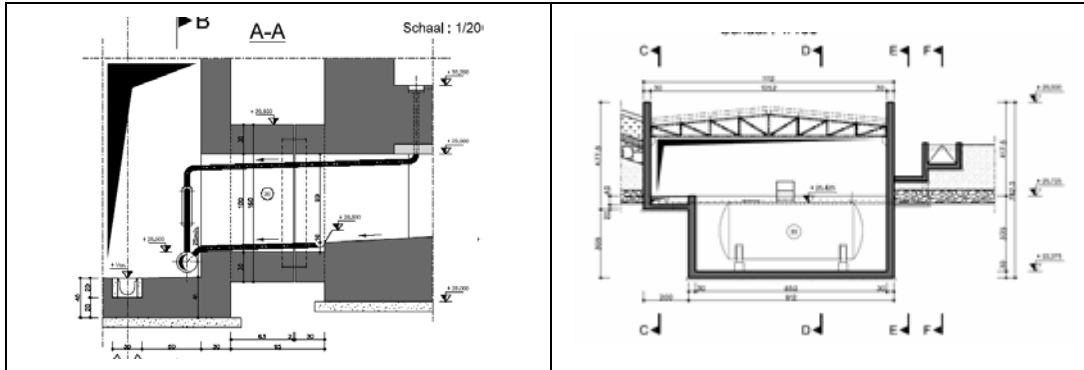
- Water in de module zelf wordt verzameld door afhellende gootjes die ingebed zijn in de betonnen ondersteunende plaat. Er zijn enkel gootjes voorzien in de richting evenwijdig aan de inspectiegalerij (zie plan 121\_MGW\_GCCO\_102)<sup>17</sup>; er is één zulke goot per module en ze verbindt de drie drainageopeningen van een module met elkaar. Het water wordt naar de galerij geleid door drie leidingen die door de ondersteunende plaat en door de inspectie-openingen van de modulewand gaan. Elke leiding eindigt in een transparante container. Dit maakt het mogelijk om de aanwezigheid van water te detecteren en te bemonsteren voor analyse (zie HS16, §16.6). Een klep maakt het mogelijk om het water uit de transparante container af te laten naar de hoofdleiding die het naar het WCB leidt. Bij accidenteel hoge waterinstroom leidt een overloop het overtollige water rechtstreeks naar de hoofdleiding.
- Waterindringing doorheen de ondersteunende plaat (i.e. water dat dus niet opgevangen werd door het drainagesysteem in deze plaat) en in de inspectieruimte zelf, kan gedetecteerd worden in de inspectieruimte, hetzij doordat het opgevangen wordt in het drainagesysteem aldaar, hetzij door observaties met de inspectierobot (camera-inspectie en eventuele analyse van wrijfmonsters). De bovenzijde van de funderingsplaat, i.e. de vloer van de inspectieruimte, is hellend uitgevoerd (initieel 0,85%), richting de centrale inspectiegalerij. Het water wordt verzameld in de hoofdleiding die in de inspectiegalerij loopt en naar het WCB leidt. Kleppen maken het mogelijk om de leidingen, die van de funderingsplaat komen, af te sluiten.

---

<sup>17</sup> Als alternatief worden bijkomend drie goten in noord-zuid richting per module voorzien om de afstand tussen eventueel stagnerend water en een goot te beperken. Deze goten zouden horizontaal uitgevoerd worden. De goten zouden na constructie van de ondersteunende plaat uitgefreesd worden met een nominale diepte van 15 mm en een opgelegde tolerantie van +/- 5 mm. De minimale wapeningsdekking aan de bovenzijde van de ondersteunende plaat is in dat geval gegarandeerd: de wapening wordt immers op 65 mm +/- 5 mm van het betonoppervlak gepositioneerd. Op deze wijze zou ook ter hoogte van de gootjes (maximale diepte 20 mm) de dekking voldoende groot zijn, namelijk  $\geq 40$  mm. Voor dergelijke freeswerken zijn industriële technieken beschikbaar, er is R&D lopende om de afwezigheid van degradatie van het omliggende materiaal aan te tonen.

De huidige referentieoplossing bevat enkel oost-west goten; indien voor het alternatief geopteerd wordt moet deze beslissing genomen worden voor de start van de constructiefase.

Het water dat opgevangen wordt in modules waarin zich nog geen monolieten bevinden, dient niet in de opvangtank verzameld te worden. Aangezien dit water zeker niet besmet is, kan het conventioneel afgevoerd worden.



Figuur 8-16: Het drainagesysteem (links) en het bufferreservoir dat zich in het WCB bevindt (rechts).

Het WCB bevindt zich aan het oostelijke einde van de galerij en biedt voldoende opslagcapaciteit voor het ontwerpbasis-voorval: de afmetingen van de buffertanks zijn gebaseerd op de berekende hypothese en zijn uit praktische overwegingen opgedeeld in twee 25 m<sup>3</sup> tanks. De tanks maken controle van het water mogelijk vooraleer dit door middel van een vrachtwagen naar Belgoprocess wordt vervoerd (zie HS16, §16.6.4).

#### Drainagesysteem – vloer van de inspectiegalerij

Zoals weergegeven in Figuur 8-15 wordt water in de inspectiegalerij weggeleid naar het bufferreservoir in het WCB. Het doel van de drainagegoot in de vloer van de inspectiegalerij (vloerdrainage) is om het water af te voeren dat in de galerij aanwezig is via condensatie, door indringing via de voegen van de inspectiegalerij of door defecten aan de drainageleidingen.

Bij het vastleggen van de minimale helling van de vloer van de inspectiegalerij is er een afweging gemaakt tussen het vermogen om af te voeren enerzijds en het totale hoogteverschil over de volledige lengte van de galerij anderzijds.

Voor de minimale helling van een afwatering wordt door verschillende bronnen 0,5 % vooropgesteld. [R8-26], §6.1 van [R8-27] en §2.5.2 van [R8-28]. [R8-26] en [R8-27] stellen dat een kleinere helling mogelijk is in geval van zuiver water (d.w.z. regenwater en geen sanitair water). De totale lengte van de inspectiegalerij is ongeveer 440 m. Zelfs een kleine helling (pakweg 0,5 %) betekent over deze afstand een hoogteverschil van de bodem van de galerij van 2,2 m. De hoogte van de vloer aan de westelijke zijde van de galerij (het hoogste punt) wordt mee bepaald door de positie van de toegangen tot de inspectieruimte. Om te vermijden dat aan het andere uiteinde van de galerij (i.e. aan de WCB) de bodem van de galerij te laag zou zitten, moet de helling dus zo klein mogelijk gehouden worden - zonder de afwatering in gedrang te brengen. Het water dat eventueel door de centrale goot in de vloer van de inspectiegalerij afgevoerd moet worden is zuiver water, geen sanitair water. Een kleinere helling dan 0,5 % is dus toegelaten. [R8-29] vermeldt in termen van uitvoeringstoleranties als minimale helling voor de afwatering (vb. in tunnels) bij de aanleg van spoorwegen 0,3 %.

Conclusie: er wordt een minimale helling van 0,3 % opgelegd na de verwachte zettingen die rekening houden met de constructie- en opvulfasering van de modules. Deze helling laat toe dat het water naar het WCB loopt (weliswaar in een langzaam tempo).

Een dwarsdoorsnede is gegeven op plan 124\_MGW\_SAEV\_102. Hierop is te zien dat in de bodem van de galerij een beklede goot voorzien is. De galerij wordt ter plaatse gegoten in moten, in parallel met de constructie van de modules. Na de constructie van twee of vier modules wordt het stuk galerij tussen deze modules gebouwd. Dit laat toe om stapsgewijs de noodzakelijke helling van de vloer van de galerij te realiseren. De goot wordt na constructie in de uitsparing in de vloer van de galerij geplaatst. Op dat moment wordt de finale helling gerealiseerd volgens de specificaties.

De open goot in het midden van de galerij moet waterdicht zijn over de hele inspectiegalerij. Dit om de verspreiding van besmetting uit de inrichting te vermijden bij ongevallen/incidenten.

Zoals weergegeven in Figuur 8-15 wordt bij accidentele omstandigheden (bijvoorbeeld lekken van het reservoir) het water in het WCB verzameld in een bassin dat controle mogelijk maakt voorafgaand aan extern transport (zie §16.6.4, HS16). Omwille hiervan moet de vloer van het WCB voldoen aan specifieke vereisten om de verspreiding van besmetting uit de inrichting te vermijden bij ongevallen/incidenten.

Het materiaal van het drainagesysteem is HDPE, uitgezonderd voor de recipiënten (Plexiglas) en de tanks in het WCB (GRE - *Glass reinforced epoxy* - met een RF coating) en de ingestorte delen in de ondersteunende plaat (roestvast staal - AISI 304). Voor een detailuitwerking van de doorvoer door de ondersteunende plaat wordt verwezen naar het plan 124\_MGW\_SAEV\_102. Door de kraag in het midden van de ingestorte buis en door de aanhechting tussen beton en de buis, vormt de drainagebuis geen bypass van de modulebasis.

### **Inspectiegalerij**

De inspectiegalerij is uitgerust met nooduitgangen via het dak. Deze zijn zodanig ingeplant dat er een maximale ontsnapingsafstand is van 60 m vanaf eender welk punt in de galerij. Het westelijke uiteinde van de inspectiegalerij is eveneens voorzien van een (nood)uitgang. Eens de afdekking geplaatst, blijven enkel de oostelijke en westelijke uitgangen van de galerij toegankelijk.

De inspectiegalerij herbergt een conventioneel ventilatiesysteem voor de inspectiegalerij.

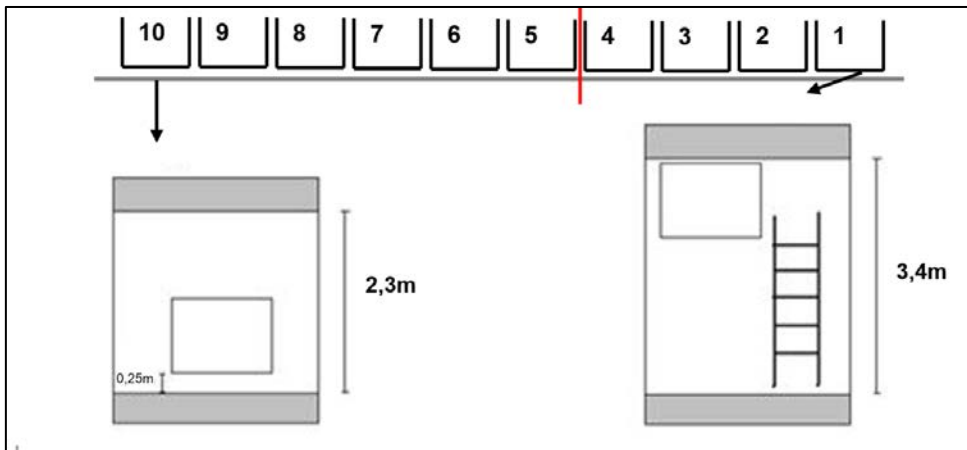
Een subcomponent van de inspectiegalerij zijn de proefstukkamers (*sampling rooms*) die dienen voor het bewaren van getuigestructuren onder representatieve omstandigheden (zie HS16, §16.5.1.2).

In de verbindingstunnels tussen de inspectiegalerij en de inspectieruimte wordt een voegband voorzien in de zettingsvoeg (Figuur 8-18). Deze is nodig om de differentiële zettingen tussen de modules enerzijds en de inspectiegalerij anderzijds op te vangen. De specificaties die opgelegd worden in het bestek zijn:

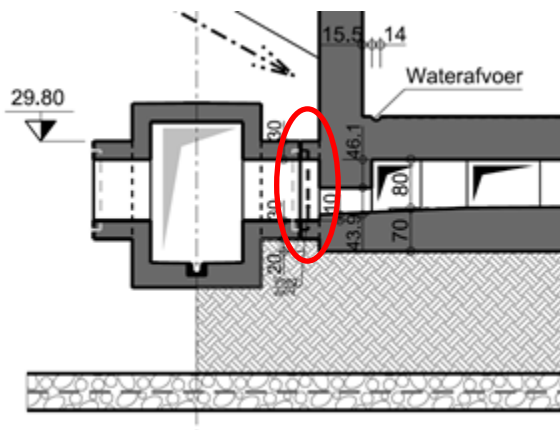
- Op te nemen differentiële verticale zetting is gelijk aan 3,0 cm;
- Waterdichtheid garanderen;
- Duurzaam (bij voorkeur een levensduur > 100 jaar);
- Weerstand kunnen bieden aan een mogelijke gronddruk van 15 m hoog;
- Moet geplaatst worden in de betondoorsnede zelf, zonder naar binnen toe uit te steken en dus de vrije ruimte van de verbindingstunnel te beperken.

Het exacte type van de voegband zal ter goedkeuring voorgelegd worden door de aannemer aan NIRAS.

OPM: in de sluitingsfase wordt de voegband verwijderd of doorboord teneinde het ABS operationeel te maken (zie HS10, §10.3.2).



Figuur 8-17: Voorstelling van de variërende hoogte van de inspectiegalerij en de positie van de inspectieopeningen.



Figuur 8-18: Positie van de zettingsvoeg in de verbindingstunnels tussen de inspectiegalerij en de inspectieruimtes.

### Anti-badkuipsysteem (ABS)

Om een mogelijk badkuip effect van de module te vermijden is het nodig dat bovenaan nooit meer water in de module binnendringt dan er onderaan en/of aan de zijkanten uit verdwijnt. Tijdens de volledige duur van fase I, d.w.z. zowel tijdens fase Ia als Ib, is het drainagesysteem operationeel en is het badkuip effect uitgesloten. Deze fase wordt in de rest van deze sectie dan ook niet verder beschouwd.

In fase II wordt het grootste deel van het drainagesysteem ontmanteld, enkel het gedeelte in de ondersteunende plaat blijft over. De bergingsinstallatie bestaat dan bovenaan uit:

- De aarden afdekking met onder andere een kleilaag, drainerende lagen boven en onder de kleilaag, een GCL (*Geosynthetic Clay Liner*) en een HDPE membraan.
- De ondoorlatende topplaat, bestaande uit een vezelversterkte betonnen plaat bovenop een bitumenlaag.
- De structurele topplaat, uit gewapend beton.
- De bergingsinstallatie bestaat onderaan en aan de zijkanten uit:

- ▶ De funderingsplaat, betonnen kolommen en de ondersteunende plaat, allen uit gewapend beton.
- ▶ Het gedeelte van het drainagesysteem dat achterblijft na sluiting.
- ▶ De opgevlude inspectieruimte en -galerij en de fundering (grindlaag + zand-cement ophoging + grondverbetering met bentoniet).
- ▶ Modulewanden uit gewapend beton.

Om de R2a functie (beperken van waterinsijpeling tot bij het afval) van de afdekking te versterken en zo mee het badkuip effect te vermijden, werd in de optimalisatiestap van het voorontwerp (T0-ontwerp) naar het T1-ontwerp de ondoorlatende topplaat aan het ontwerp toegevoegd. De afdekking en meer in het bijzonder de ondoorlatende topplaat, zorgt er immers voor dat de berging niet volledig gesatureerd is tot het beton start met fysisch degraderen. Water dat zich in de afdekking bevindt kan weliswaar door suctie opgenomen worden door de betonnen SSC's maar zal enkel de saturatiegraad van het beton verhogen. Dit wordt geïllustreerd door resultaten van *scoping* berekeningen beschreven in HS14, §14.3.2.3.2. De berekening toont aan dat de grindopvulling aan de binnenzijde van de modulewanden grotendeels ongesatureerd blijft. Er staat met andere woorden geen water in de modules - er is geen badkuip effect.

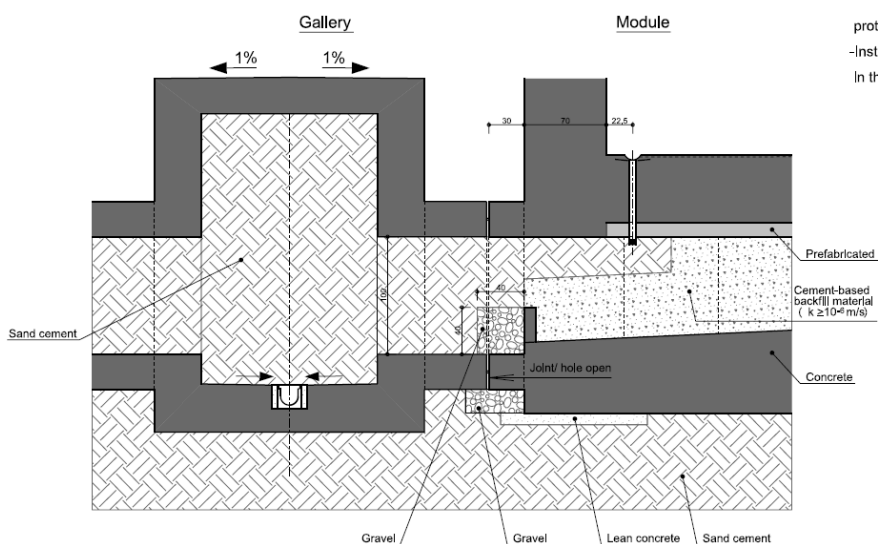
In geval van degradatie van de barrières bovenaan het systeem, kan het niet uitgesloten worden dat er zonder extra voorzieningen (tijdelijk) een situatie ontstaat waarbij de componenten bovenaan meer water doorlaten dan de componenten onderaan. Daarom wordt een ABS (anti-badkuipsysteem) in het ontwerp opgenomen.

Het anti-badkuipsysteem (= ABS) moet het optreden van een badkuip effect vermijden. Het ABS bestaat uit verschillende componenten:

- De **roestvast stalen drainagebuizen** door de ondersteunende plaat die vanaf de sluitingsfase onderdeel uitmaken van het ABS en ervoor zorgen dat water zich niet kan ophopen in de module. Deze worden niet opgevuld.
- De **opgevlude inspectieruimte**: water dat via de drainagebuizen door de ondersteunende plaat (of door scheuren in deze plaat) in de inspectieruimte komt, wordt afgevoerd doorheen het opvulmateriaal dat een minimale hydraulische geleidbaarheid heeft van  $10^{-6}$  m/s.
- De **opgevlude verbindingstunnels** tussen de module en de inspectiegalerij: zolang de funderingsplaat niet gescheurd is, verplaatst het water zich doorheen het opvulmateriaal van de inspectieruimte in de richting van de inspectiegalerij. In de funderingsplaat zelf is geen ABS-opening voorzien, maar het water zal via de voeg in de verbindingstunnel afgevoerd worden. De aanwezige voegband wordt bij de sluiting verwijderd of doorboord (zie HS10, §10.3.2). Onder de verbindingstunnels is een grindpakket voorzien zodat er een grote oppervlakte beschikbaar is voor infiltratie in het onderliggende zand-cement (hydraulische geleidbaarheid van het grind: grootteorde  $10^{-3}$  à  $10^{-4}$  m/s; hydraulische geleidbaarheid van het zand-cement: grootteorde  $10^{-6}$  m/s). OPM: het materiaal rondom en boven de verbindingstunnels is eveneens permeabel, dit is namelijk gecompecteerd zand.
- Er wordt een **kleine hindernis** ingebouwd net voor de voeg in de verbindingstunnels, dit om een uniformere flux uit de module te krijgen bij volledig gescheurd beton van de funderingsplaat.

- Water dat niet via de voeg in de verbindingstunnels verdwijnt komt terecht in de **opgevulde inspectiegalerij**, deze is boven de footprint van de zand-cement ophoging opgevuld met zand-cement.

Figuur 8-19 geeft een overzicht van het ABS.



Figuur 8-19: Overzicht van het ABS.

## 8.5.6 Vast stalen dak

### 8.5.6.1 Specifieke ontwerpnormen en voorschriften

De volgende Europese normen en hun Belgische bijlagen worden gebruikt voor het ontwerp van de stalen constructie:

- NBN EN 1990: 2002, Eurocode – Grondslagen van het constructief ontwerp + ANB: 2007
- NBN EN 1991-1-1: 2002, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen + AC: 2009 + ANB: 2007
- NBN EN 1991-1-3: 2003, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-3: Algemene belastingen - Sneeuwbelasting + AC: 2009 + ANB: 2007
- NBN EN 1991-1-4: 2005, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting + AC: 2010 + ANB: 2009
- NBN EN 1991-3: 2006, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 3: Belastingen veroorzaakt door kranen en machines + ANB: 2010
- NBN EN 1992-1-1: 2004, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
- NBN EN 1993-1-1: 2005, Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen

- NBN EN 1993-6: 2007, Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 6: Kraanbanen + ANB: 2007
- NBN EN 1998-1: 2005, Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen
- Uitvoeringsnorm EN 1090

### 8.5.6.2 Ontwerpvereisten

De ontwerpvereisten van toepassing op het vast stalen dak zijn gegeven in Tabel 8-15 (hernomen uit Bijlage 2).

Tabel 8-15: Ontwerpvereisten van toepassing op het vast stalen dak.

| SSC                | Ontwerpvereisten (DR) |      |      |      |    |    |      |      |
|--------------------|-----------------------|------|------|------|----|----|------|------|
|                    | 10                    | 12.b | 12.c | 12.d | 17 | 22 | 25.a | 25.b |
| 2. Vast stalen dak | X                     | X    | X    | X    | X  | X  | X    | X    |

#### DR10 Compatibele materialen gebruiken

*Van toepassing op: vast stalen dak*

De dakstructuur is vervaardigd uit staal. Dit is compatibel met de betonnen sokkels waarop de dakstructuur bevestigd is.

#### DR12.b Weerstaan aan de DBE50

*Van toepassing op: vast stalen dak*

Zie §8.5.6.3.

#### DR12.c Weerstaan aan de ontwerp klimaatbelastingen

*Van toepassing op: vast stalen dak*

Zie §8.5.6.3.

#### DR12.d Weerstaan aan het ontwerpbasis-voorval 'bosbrand'

*Van toepassing op: vast stalen dak*

De temperaturen tijdens bosbrand blijven beperkt doordat er geen bomen toegelaten zijn in de nabijheid van de modules (zie HS13, §13.5.2). Er moet ook vermeden worden dat vlieg vuur brand veroorzaakt aan de dakstructuur. De bekleding aan de zijkant is van staal dus daar stelt zich geen probleem. Om ook aan de bovenzijde problemen met vlieg vuur uit te sluiten zal de dakbedekking uitgevoerd worden conform BROOF(T1) volgens Bijlage 6 aan [R8-13] (**Dak02**). Dit zal gecontroleerd worden in documenten van de leveranciers.

#### DR17 De stalen dakstructuur moet alle modules beschermen

*Van toepassing op: vast stalen dak*

De dakstructuur is voorzien over alle modules.



## **DR22 Materialen gebruiken die de waarschijnlijkheid en de impact van brand tot een minimum beperken**

*Van toepassing op: vast stalen dak*

Zie DR12.d.

## **DR25.a Weerstaan aan de statische belastingen**

*Van toepassing op: vast stalen dak*

Zie §8.5.6.3.

## **DR25.b Weerstaan aan de dynamische belastingen**

*Van toepassing op: vast stalen dak*

Zie §8.5.6.3.

### **8.5.6.3 Ontwerpberekeningen**

Zoals beschreven in §8.5.1.3, behandelt deze paragraaf de configuratie van de inrichting vooraleer de afdekking is geplaatst. Het belangrijkste doel van deze berekeningen is om de stalen dakconstructie te dimensioneren. Ze worden eveneens gebruikt om de verbinding tussen de stalen dakconstructie en de betonnen modules te ontwerpen en om de toereikendheid van de wapeningsniveaus van de modules voor deze configuratie te controleren.

De **stalen constructie-elementen** worden gecontroleerd om:

- structurele defecten te vermijden
  - ▶ Weerstand van secties
    - Spanning
    - Afschuiving
    - Buiging, afschuiving en axiale kracht
  - ▶ Weerstand tegen knik van de constructie-elementen
    - Uniforme constructie-elementen bij buiging en axiale samendrukking
- verplaatsingen van de rolbanen te beperken (GGT)

Secundaire resultaten van de berekening zijn:

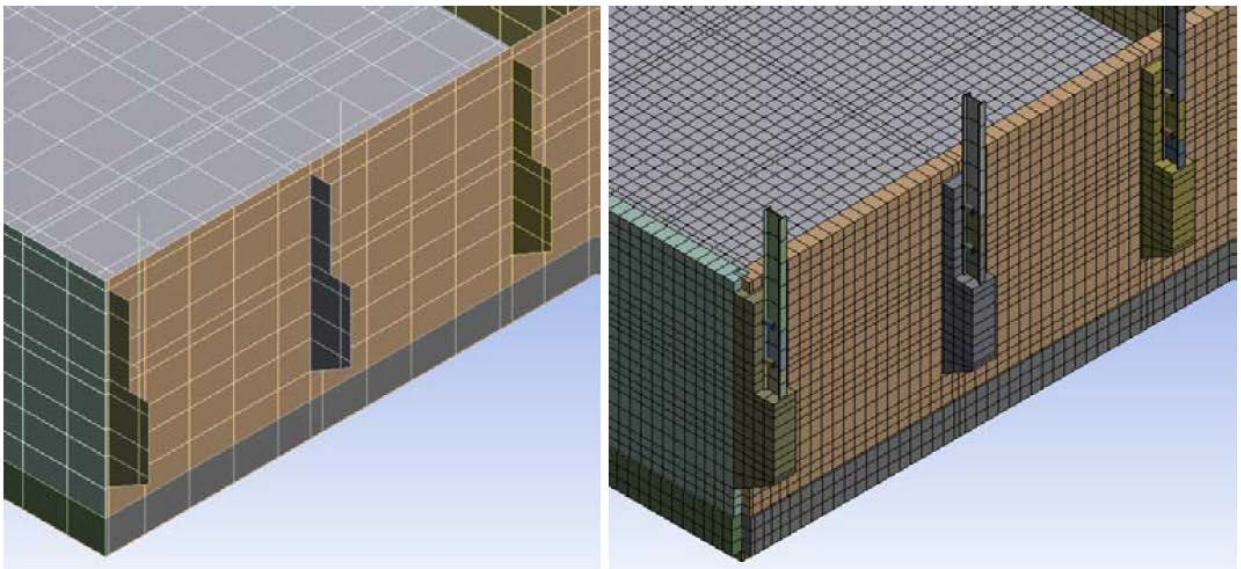
- het beoordelen van de benodigde wapening in de betonnen sokkels
- de verificatie van de hoeveelheid wapening in de module zelf om na te gaan dat het dimensionerende belastingsgeval voor het beton (met uitzondering van de sokkels) de langetermijnconfiguratie is onder een DBE voor een levensduur van 350 jaar en de scheurwijdbepijking bij quasi-permanente belasting.

Het berekeningsmodel voor de verificatie van de betonnen elementen wordt weergegeven in Figuur 8-20. De geometrie van een sokkel is weergegeven in Figuur 8-21.

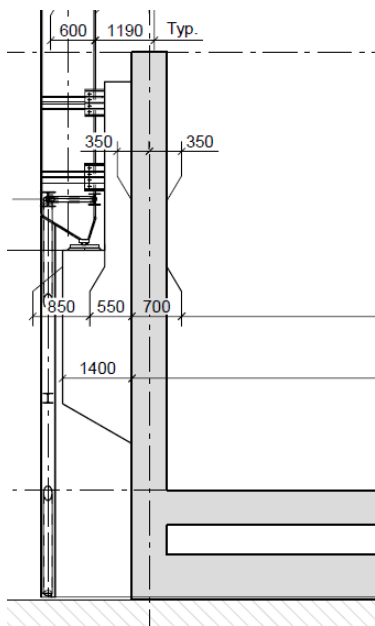
Betonnen sokkels (op de wanden van elke module) ondersteunen het stalen framework. Elke kolom is op de sokkel bevestigd op drie niveaus. Op twee niveaus is de kolom bevestigd in de X en Y richting (horizontale belastingen). Het bovenste deel van de sokkels wordt dus gedimensioneerd als verankering

voor trek en afschuiving. Stalen platen zullen de verankering verzorgen. Op niveau  $Z_0$  (einde van de kolom) is de kolom verankerd in de Z richting (verticale belastingen). In overeenstemming met Eurocode 2 moet het onderste deel van de sokkels worden ontworpen volgens een *strut-and-tie* model.

De statische en seismische structuurresponsen van de stalen dakstructuur worden berekend aan de hand van de eindige elementen software Ansys door het uitvoeren van respectievelijk een lineaire statische analyse en een transiënte analyse. 3D eindige elementen modellen, die rekening houden met de juiste grond-structuur interactie, worden toegepast.



Figuur 8-20: Verbindingen tussen de stalen constructie en de betonnen module



Figuur 8-21: Geometrie van de sokkel (uittreksel van plan 121\_MGW\_GCSM\_001, zie bijlage 1 aan het veiligheidsrapport).

### Lineaire statische analyse

Lineaire statische analyse is de meest elementaire vorm van analyse. De term "lineair" betekent dat de berekende reactie - bijvoorbeeld verplaatsing of spanning - in een lineair verband staat met de toegepaste belastingen. De term "statisch" betekent dat de belasting niet in de tijd varieert of de tijdvariatie onbelangrijk is en derhalve kan genegeerd worden.

De vergelijking van de statische analyse is:  $[K] \{u\} = \{f\}$

waarbij  $[K]$  de stijfheidsmatrix is

$\{u\}$  de vector van de verplaatsingen is

$\{f\}$  de vector van de belasting is

### Transiënte analyse

Om een transiënte analyse uit te voeren, worden onafhankelijke synthetische versnellingstijdreeksen gegenereerd met het computerprogramma THGE. Een set van drie synthetische horizontale tijdreeksen die overeenkomen met het horizontale responspectrum met 5 % demping wordt gegenereerd. De synthetische tijdreeksen hebben de volgende kenmerken:

- de totale duurtijd bedraagt 20,48 sec
- de stap tijd bedraagt 0,01 sec
- de duurtijd van het stationaire deel duurt langer dan 10,00 sec
- de gemiddelde versnellingswaarden (bij periode gelijk aan nul) berekend uit de drie afzonderlijke tijdreeksen is groter dan de ontwerp grondversnelling;
- in het frequentiegebied dat van belang is voor het ontwerp van de constructie is het gemiddelde van de verhouding van het gemiddelde spectrum (berekend uit de drie afzonderlijke tijdreeksen) met het doelspectrum, waarbij de verhoudingen frequentie per frequentie berekend worden, groter of gelijk aan 1,00;
- geen enkel punt van het gemiddelde spectrum ligt meer dan 10 % onder het doelspectrum.

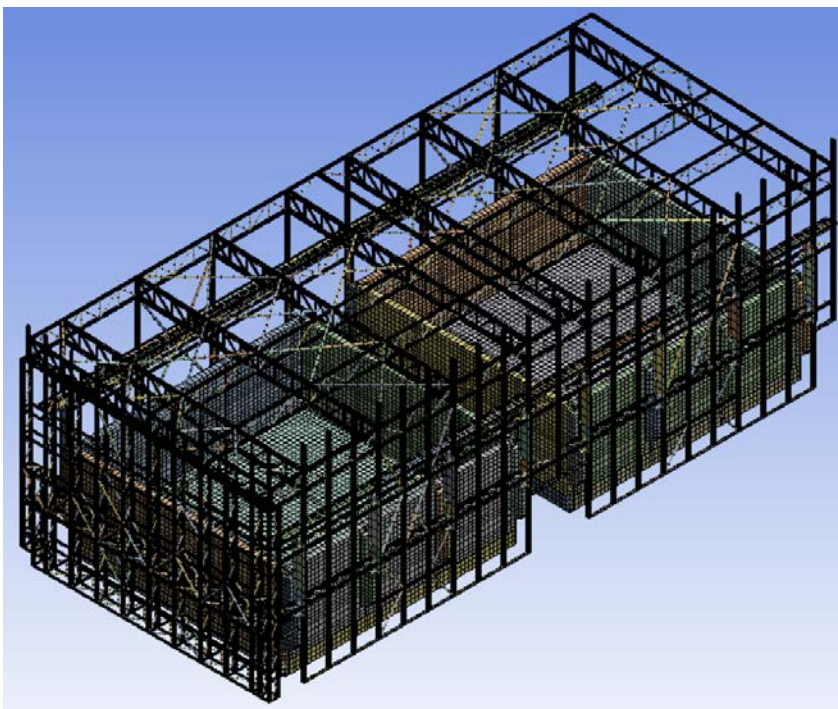
De synthetische verplaatsingstijdreeksen zijn in deze studie verkregen door de gegenereerde versnellingstijdreeksen twee maal in functie van de tijd te integreren. De verticale tijdreeksen zijn verkregen door de horizontale met twee-derde te schalen.

De responsen van de drie bewegingscomponenten worden gelijktijdig berekend waarbij de tijdreeksen in de drie orthogonale richtingen (X, Y en Z) dus onafhankelijk moeten zijn. Daartoe worden de drie combinaties, weergegeven in Tabel 8-16, beschouwd.

Het volledige 3D model wordt weergegeven in Figuur 8-22. De stalen structuur is samen met de betonnen module gemodelleerd. Dit laat toe om een controle van de wapening uit te voeren in vergelijking met de module berekeningen over 350 jaar.

Tabel 8-16: Beschouwde combinaties, met HTH#i (i=1,3) horizontale tijdreeks.

| Seismische component |               |             |
|----------------------|---------------|-------------|
| Horizontaal X        | Horizontaal Y | Verticaal Z |
| HTH#1                | HTH#2         | 2/3 x HTH#3 |
| HTH#2                | HTH#3         | 2/3 x HTH#1 |
| HTH#3                | HTH#1         | 2/3 x HTH#2 |



Figuur 8-22: Volledig 3D model (straalconstructie en betonnen module)

Via berekening werd nagegaan dat de dakstructuur weerstaat aan de verschillende belastingen. Bij de uitvoering zal uitvoeringsnorm EN 1090 gevolgd worden (uitvoeringsklasse EXC3); kwaliteitsopvolging borgt dat de reële constructie voldoet aan het ontwerp.

Bij het ontwerp werden de volgende materiaaleigenschappen genomen (**Dak01**):

- Voor holle, ronde en rechthoekige secties
  - ▶ Vloeigrens  $f_y$ : 275 MPa
  - ▶ Treksterkte  $f_u$ : 430 MPa
  - ▶ Als de nominale dikte groter is dan 40 mm:  $f_y$ : 255 MPa en  $f_u$ : 410 MPa
- Voor andere secties

- ▶ Vloeigrens  $f_y$ : 355 MPa
- ▶ Treksterkte  $f_u$ : 510 MPa
- ▶ Als de nominale dikte groter is dan 40 mm:  $f_y$ : 335 MPa en  $f_u$ : 470 MPa

De eigenschappen van de gebruikte stalen profielen zullen gecontroleerd worden in documenten van de leveranciers.

De beschouwde belastingen zijn (zie ook Tabel 8-2):

- SW: eigengewicht van de constructie
- SL: sneeuw en personenlasten –  $SL = 0,5 \text{ kN/m}^2 + 0,2 \text{ kN/m}^2$
- W: windbelasting –  $v_b = 26 \text{ m/s}$  - piekdruk  $1,232 \text{ kN/m}^2$
- T: temperatuurverschil tussen de stalen en betonnen constructies –  $\Delta T = +/-10 \text{ }^\circ\text{C}$
- BC: belastingen veroorzaakt door de verplaatsing van de rolbrug
  - ▶ Klasse van de rolbrug HC2
  - ▶ Hijsvermogen  $Q_s=230 \text{ kN}$
  - ▶ Gewicht van de brug  $Q_a=627,11 \text{ kN}$
  - ▶ Gewicht van de kraan  $Q_b=120 \text{ kN}$
  - ▶ Gewicht van de grijper  $Q_{ie}=45 \text{ kN}$
  - ▶ Hijssnelheid  $V_h=0,067 \text{ m/s}$
- I: algemene onvolmaaktheid
- $T_o$ : tornadobelasting –  $v_p = 75 \text{ m/s}$  – piekdruk  $3,516 \text{ kN/m}^2$
- S: seïsme – DBE met een terugkeerperiode van 1225 jaar

De beschouwde belastingen worden gecombineerd conform [R8-33] en [R8-34]; Tabel 8-21 geeft een overzicht:

- fundamentele combinaties (FONDi)
- accidentele ontwerpcombinaties (ACCI)
  - ▶ In deze studie is er slechts één accidentele belasting, met name de tornado ( $T_o$ ).
- seismische ontwerpcombinaties (SEISMi)
- karakteristieke combinaties (CHARi)

### Fundamentele combinaties

Combinaties van belastingen voor permanente of tijdelijke ontwerpsituaties (fundamentele combinaties):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Waarbij “+” betekent “te combineren met”

$\sum$  betekent “de gecombineerde effecten van”

- $G_{k,j}$  kenmerkende waarde van een permanente belasting j  
 P relevante representatieve waarde van de voorspanningsbelasting (hier niet aanwezig)  
 $Q_{k,1}$  kenmerkende waarde van de belangrijkste variabele belasting 1  
 $Q_{k,i}$  kenmerkende waarde van de bijhorende variabele belasting i  
 $\gamma$  de gebruikte partiële factoren worden weergegeven in Tabel 8-17

Tabel 8-17: Partiële factoren.

| Partiële factor                | Normale veiligheid<br>Class CC2 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| $\gamma_{G,j,sup}$ (ongunstig) | 1,35                            |
| $\gamma_{G,j,inf}$ (gunstig)   | 1,00                            |
| $\gamma_{Q,1} - \gamma_{Q,i}$  | 1,50                            |

- $\Psi_{0,i}$  factoren voor de gecombineerde waarde van een variabele belasting die gegeven worden in Tabel 8-18

Tabel 8-18: Factoren voor de gecombineerde waarde van een variabele belasting.

| Belastingen   | $\Psi_0$            |
|---|---------------------|
| SL  | 0,50 <sup>(1)</sup> |
| W   | 0,60 <sup>(1)</sup> |
| T   | 0,60                |
| BC  | 1,00                |
| (1) Wanneer een kortdurende variabele belasting (<1 maand) – voor bijvoorbeeld wind of sneeuwbelasting – samengaat met een kortdurende belangrijke variabele belasting, $\Psi_0 = 0,30$ . |                     |

### Accidentele ontwerpcombinaties

Belastingscombinaties voor accidentele ontwerpsituaties:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "A_d" + (\Psi_{1,1} \text{ or } \Psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Waarbij  $A_d$  ontwerpwaarde voor accidentele belasting  
 $\Psi_1$  factor voor de frequente waarde van een variabele belasting, zie Tabel 8-19  
 $\Psi_2$  factor voor de quasi-permanente waarde van een variabele belasting, zie Tabel 8-19

**Tabel 8-19: Factoren voor variabele belastingen.**

| Belastingen                 | $\Psi_1$ | $\Psi_2$ |
|-----------------------------|----------|----------|
| SL                          | 0,00     | 0,00     |
| W                           | 0,20     | 0,00     |
| T                           | 0,50     | 0,00     |
| BC – Permanente belastingen | 1,00     | 1,00     |
| BC – Variabele belastingen  | 0,00     | 0,00     |

In deze studie is er slechts één accidentele belasting, met name een tornado.

### Seismische ontwerp combinaties

Belastingscombinaties voor accidentele ontwerpsituaties:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "A_{Ed}" + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Waarbij  $A_{Ed}$  ontwerpwaarde voor de seismische belasting

$\Psi_{2,i}$  factoren voor de quasi-permanente waarde van een variabele belasting, gegeven in Tabel 8-20

**Tabel 8-20: Factoren voor de quasi-permanente waarde van een variabele belasting.**

| Belastingen                 | $\Psi_2$ |
|-----------------------------|----------|
| SL                          | 0,00     |
| W                           | 0,00     |
| T                           | 0,00     |
| BC – Permanente belastingen | 1,00     |
| BC – Variabele belastingen  | 0,00     |

### Karakteristieke combinaties

Belastingscombinaties voor karakteristieke combinaties:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "Q_{k,l}" + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

|              |   |
|--------------|---|
| Waarbij “+”  | betekent “te combineren met”  |
| $\Sigma$     | betekent “de gecombineerde effecten van”  |
| $G_{k,j}$    | kenmerkende waarde van een permanente belasting j                                   |
| P            | relevante representatieve waarde van de voorspanningsbelasting (hier niet aanwezig) |
| $Q_{k,l}$    | kenmerkende waarde van de belangrijkste variabele belasting l                       |
| $Q_{k,i}$    | kenmerkende waarde van de bijhorende variabele belasting i                          |
| $\Psi_{0,i}$ | factoren voor de gecombineerde waarde van een variabele belasting                   |

De tijdelijke wand tussen modules 7/8 en 9/10 (zie §8.5.6.4) wordt op gelijkaardige wijze gedimensioneerd, zie appendix 3 aan [OD-167].

### Resultaten

Uit berekeningen blijkt dat aan de criteria, opgelegd door de Eurocode 3 (UGT en GGT), voldaan is voor elk constructie-element.

De wapeningsdichtheid in de betonnen sokkels is ongeveer 130 kg/m<sup>3</sup>. Er moet worden opgemerkt dat de vereiste overlappings- en verankeringslengtes hierin niet meegeteld werden. Bovendien kunnen bij de praktische uitvoering (kleine) wijzigingen nodig zijn in de wapeningsconfiguraties. De verankeringsvereisten werden eveneens bepaald.

Bevestiging werd verkregen dat de hoeveelheid wapening in de modules - bepaald voor de langetermijn configuratie - voldoende is voor de belastingsgevallen in deze paragraaf (zie §9 van appendix 1 aan in [OD167]).

#### 8.5.6.4 Beschrijving van het ontwerp

Voor elke betonnen module is een stalen vakwerk voorzien (Figuur 8-23). De hele assemblage van deze afzonderlijke stalen constructies zal een gebouw vormen met een lengte van ongeveer 300 m en een breedte van 60 m. Het vakwerk laat toe om een waterdichte bekleding boven de modules aan te brengen en biedt ondersteuning voor twee mobiele rolbruggen in het gebouw (één voor elke rij modules).

De aanhechting van de metalen dakstructuur aan de modules, eerder dan dit rechtstreeks op de grond te verankeren, werd vastgelegd op basis van een evaluatie in een vroeg stadium van het project. Er werden toen drie opties bestudeerd (zie annex 4 aan [OD-167]):

- Een structuur die onafhankelijk is van de modules, onderaan ingeklemd en scharnierend bovenaan.
- Een structuur die onafhankelijk is van de modules, bovenaan ingeklemd en scharnierend onderaan.
- De gekozen oplossing: een structuur verankerd op de modulewanden.

Elke stalen structuur met een geprojecteerde oppervlakte van 32,3 m lang en 29,2 m breed is structureel volledig onafhankelijk van de andere.

De belangrijkste onderdelen van deze structuren zijn vier transversale portaalframes die 8,8 m uit elkaar staan en rusten op de betonnen sokkels van de modules. Elk portaalframe is opgebouwd uit twee

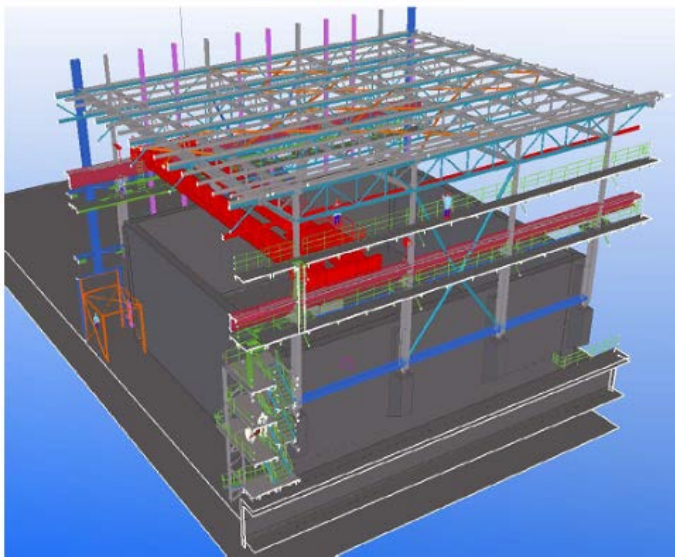


kolommen, samengesteld uit twee secties, met een hoogte van ongeveer 15 m en een hellende roosterbalk. De vier portaalframes zijn met elkaar verbonden door vijf longitudinale roosterbalken.

Om de stabiliteit te waarborgen bij blootstelling aan horizontale belastingen, moeten de stalen structuren in alle vlakken geschoord worden (in het dakvlak in beide richtingen en verticale schoren evenwijdig met de longitudinale gevels).

Elk vakwerk ondersteunt twee rolbanen die samengesteld zijn uit statisch bepaalde secties. Er zijn loopbruggen geïnstalleerd langs de longitudinale gang tussen de modules en langsheen de gevels (in longitudinale richting). Deze geven toegang tot beide rolbruggen.

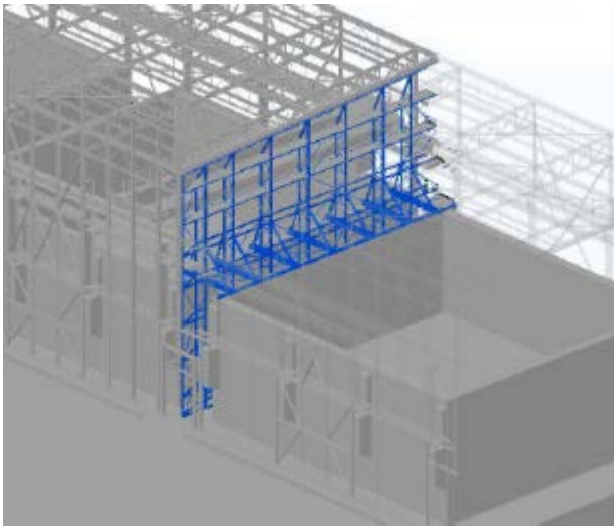
Bij elke kruising tussen een smalle gang en de longitudinale galerij is er een toegangstoren geïnstalleerd.



**Figuur 8-23: Principe van de stalen dakconstructie; zicht op een modulewand naast de inspectiegalerij, een doorsnede hiervan is eveneens zichtbaar.**

De dakpanelen en de bekleding bedekken het volledige vakwerk. Ze worden tegen een bijkomend raamwerk geplaatst dat gemonteerd is op het dwarse vakwerk. Het gekozen materiaal voor de draagstructuur is gegalvaniseerd staal. De functionele schil van de buitenbekleding bestaat uit gegalvaniseerd en gelakt staal. Een laag van 12 cm rotswol (of equivalent - isolatiewaarde ( $\lambda$ ) van 0,040 W/m.K) zorgt voor de isolatie.

Om te voldoen aan de veronderstelling voor wat de dakbelasting betreft, wordt er tijdelijk een zijpaneel met geïsoleerde bekleding geplaatst aan de westzijde tussen modules 7/8 en modules 9/10 (Figuur 8-24). Deze tijdelijke wand is structureel volledig onafhankelijk van de rest van de stalen dakstructuur. De tijdelijke wand steunt verticaal en horizontaal af op de modulewanden, zonder deze te beschadigen ([OD-167], §4.4).



**Figuur 8-24: Principetekening van de tijdelijke dakstructuur tussen modules 7/8 en modules 9/10.**

Tabel 8-21: Beschouwde belastingscombinaties bij de dimensionering van het vast stalen dak.

| Ontwerp situatie          |        | OPERATIONELE FASE Ia (modules structureel gesloten en met het vast stalen dak) |          |         |          |         |          |         |          |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------|--------|--|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Belastingsgeval           |        | SW   |          | SL      |          | W       |          | T       |          | BC                 |                    | I                  |                    | To                 |                    | S                  |                    |
| Combinaties <sup>18</sup> |        | Gunstig  | Ongunst. | Gunstig | Ongunst. | Gunstig | Ongunst. | Gunstig | Ongunst. | Gunstig            | Ongunst.           | Gunstig            | Ongunst.           | Gunstig            | Ongunst.           | Gunstig            | Ongunst.           |
| UGT                       | FOND1  | 1,00   | 1,35     | 1,50    | 1,50     | 0,00    | 0,45     | 0,90    | 0,90     | 0,00               | 1,35               | 1,00               | 1,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
|                           | FOND2  | 1,00   | 1,35     | 0,00    | 0,45     | 1,50    | 1,50     | 0,90    | 0,90     | 0,00               | 1,35               | 1,00               | 1,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
|                           | FOND3  | 1,00   | 1,35     | 0,00    | 0,75     | 0,00    | 0,90     | 1,50    | 1,50     | 0,00               | 1,35               | 1,00               | 1,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
|                           | ACC1   | 1,00   | 1,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,50     | 0,00               | 1,00               | 0,00               | 0,00               | 1,00 <sup>19</sup> | 1,00 <sup>19</sup> | 0,00               | 0,00               |
|                           | SEISM1 | 1,00   | 1,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 1,00 <sup>20</sup> | 1,00 <sup>20</sup> | 0,00 <sup>19</sup> | 0,00 <sup>19</sup> | 0,00               | 0,00               | 1,00 <sup>19</sup> | 1,00 <sup>19</sup> |
| GGT                       | CHAR1  | 1,00   | 1,00     | 1,00    | 1,00     | 0,00    | 0,30     | 0,60    | 0,60     | 0,00               | 1,00               | 0,72 <sup>21</sup> | 0,72 <sup>21</sup> | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
|                           | CHAR2  | 1,00   | 1,00     | 0,00    | 0,30     | 1,00    | 1,00     | 0,60    | 0,60     | 0,00               | 1,00               | 0,72 <sup>21</sup> | 0,72 <sup>21</sup> | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
|                           | CHAR3  | 1,00   | 1,00     | 0,00    | 0,50     | 0,00    | 0,60     | 1,00    | 1,00     | 0,00               | 1,00               | 0,72 <sup>21</sup> | 0,72 <sup>21</sup> | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |

<sup>18</sup> Volgens NBN EN 1990: 2002 en NBN EN 1990 ANB: 2007

<sup>19</sup> Verwaarloosbare invloed

<sup>20</sup> Enkel het permanente gedeelte van BC

<sup>21</sup> 0,72 = 1/1,40

*Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging*

*Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel*

## 8.5.7 Afdekking

### 8.5.7.1 Specifieke ontwerpnormen en voorschriften

Voor de ondoorlatende topplaat en de vlotplaten:

- de Europese betonnorm met zijn Belgische uitbreiding: NBN EN 206-1:2001, NBN B 15-001:2004, het addendum NBN EN 206-1/A1:2004, het addendum NBN EN 206-1/A2:2005; NBN B12-109 (LA cement), NBN EN 197-1, NBN B12 108 (HSR cement), NBN EN 196-9, NBN EN 1367-1:2007
- de Europese uitvoeringsnorm NBN EN 13670:2010 met aanpassingen/aanvullingen specifiek voor de voorziene toepassing.

De vezelinhoud zal de internationale aanbevelingen en goede praktijk volgen.

Het ontwerp van de aarden afdekking is gebaseerd op de huidige praktijk en op internationale ervaring. De stabiliteit van de helling is berekend volgens de specifieke vereisten van de gebruikte codes en de weerstand tegen erosie werd geverifieerd volgens bijlage D van NUREG-1623.

### 8.5.7.2 Ontwerpvereisten

De ontwerpvereisten van toepassing op de afdekking zijn gegeven in Tabel 8-22 (hernomen uit Bijlage 2).

Tabel 8-22: Ontwerpvereisten van toepassing op de afdekking.

| SSC   | Ontwerpvereisten (DR) |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |    |      |      |      |    |      |      |      |    |   |  |  |
|---|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|------|----|------|------|------|----|---|--|--|
|   | 1.a                   | 1.b | 5.a | 5.b | 5.c | 5.d | 5.e | 7 | 9.a | 9.b | 9.c | 9.d | 9.e | 9.f | 10 | 12.a | 12.b | 12.c | 18 | 25.a | 25.b | 25.c | 26 |   |  |  |
| <b>I. Afdekking</b>   |                       |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     |    |      |      |      |    |      |      |      |    |   |  |  |
| Begroeiing op afdekking (evapotranspiratie)   |                       |     |     |     |     | X   |     |   |     |     |     |     | X   |     | X  |      |      | X    | X  |      |      |      |    |   |  |  |
| Biologische laag  |                       |     |     |     | X   | X   |     |   |     |     |     |     | X   |     |    |      |      | X    |    |      |      |      |    |   |  |  |
| Bio-intrusie laag   | X                     | X   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     | X   | X   | X  |      | X    | X    | X  | X    |      |      |    | X |  |  |
| Systeem "infiltratie-barrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusie laag en ophoging aan de zijdes" | X                     | X   |     |     |     |     | X   |   |     |     |     |     |     |     |    |      | X    | X    | X  |      |      |      |    |   |  |  |
| Infiltratie-barrière (klei)   |                       |     | X   | X   |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     | X  |      | X    |      |    |      |      |      |    |   |  |  |
| Ophoging aan de zijdes  |                       |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     | X  |      | X    |      |    |      |      |      |    |   |  |  |
| GCL in de infiltratiebarrière   |                       |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     | X  |      |      |      | X  | X    |      |      |    |   |  |  |
| Systeem "Ondoorlatende topplaat + laterale drainage door zandlaag en ophoging aan de zijdes"                          |                       |     |     |     |     |     | X   |   |     |     |     |     |     |     | X  |      |      |      | X  |      |      |      |    | X |  |  |
| HDPE op de ondoorlatende topplaat en vlotplaten   |                       |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     | X  |      |      |      | X  | X    |      |      |    | X |  |  |
| Ondoorlatende topplaat  | X                     | X   | X   | X   |     |     |     | X | X   | X   | X   |     |     |     | X  | X    | X    |      | X  | X    | X    |      |    | X |  |  |
| Vlotplaten  |                       |     |     |     |     |     |     |   | X   | X   | X   |     |     |     | X  |      |      |      |    | X    |      | X    |    |   |  |  |
| Bitumen op structurele topplaat   |                       |     |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |     | X  |      |      |      | X  |      |      |      |    | X |  |  |

#### DR1.a Over barrières beschikken om intrusie te voorkomen

*Van toepassing op: bio-intrusie laag, systeem "infiltratie-barrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusie laag en ophoging aan de zijdes", ondoorlatende topplaat*

De dikte en samenstelling van het materiaal in de afdekkingen en aan de zijdes verminderen de waarschijnlijkheid van onopzettelijke menselijke intrusie. De ondoorlatende topplaat is gemaakt van vezelversterkt beton en vermindert de waarschijnlijkheid van onopzettelijke menselijke intrusie.

### **DR1.b Weinig waardevolle materialen gebruiken**

Van toepassing op: bio-intrusie laag, systeem “infiltratie-barrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusie laag en ophoging aan de zijdes”, ondoorlatende topplaat

Alle elementen van de afdekking zijn materialen op basis van standaard bouwmaterialen met voldoende mate van beschikbaarheid: klei, grind, zand, vezelbeton. Het staal van de wapening (vezels) van de ondoorlatende topplaat is potentieel attractief maar is nodig om de lange levensduur van deze component te garanderen en scheurwijdtes te beperken.

### **DR5.a Lage effectieve hydraulische geleidbaarheid**

Van toepassing op: infiltratie-barrière (klei), ondoorlatende topplaat

De initiële hydraulische geleidbaarheid van de ondoorlatende topplaat moet zo laag mogelijk zijn om waterinsijpeling te vermijden. Dit wordt bereikt door het gebruik van een geschikt beton en een goede uitvoering.

Tijdens de uitvoering wordt de kwaliteit van het beton gecontroleerd door ingangscodes op de ingrediënten en proeven op zowel vers als uitgehard beton.

De initiële hydraulische geleidbaarheid van de infiltratiebarrière moet zo laag mogelijk zijn om waterinsijpeling te vermijden. Dit wordt bereikt door het gebruik van klei met een lage hydraulische geleidbaarheid:  $\leq 10^{-9}$  m/s (**Afd17**). Dit is haalbaar mits een goede afstemming van het watergehalte en een correcte aanleg. De hydraulische geleidbaarheid wordt gecontroleerd door metingen op de kleilaag. Voorafgaande metingen op testpanelen laten toe om makkelijker/sneller uitvoerbare proeven te kalibreren en deze later toe te passen bij de aanleg van de infiltratie-barrière.

- Voorziene proeven op de testpanelen
  - ▶ Hydraulische geleidbaarheid: infiltrometer volgens norm NF X30-420 of ASTM 5093; in boorgat volgens NF X30-424 of NF X30-425; met *custom-built* infiltrometer (ter kalibratie)
- Voorziene proeven op de infiltratie-barrière
  - ▶ Hydraulische geleidbaarheid: met *custom-built* infiltrometer

### **DR5.b Geen doorgaande macro-scheuren**

Van toepassing op: infiltratie-barrière (klei), ondoorlatende topplaat

Doorgaande macro-scheuren zijn niet toegestaan in de ondoorlatende topplaat (**Afd20**).

Doorgaande macro-scheuren in de ondoorlatende topplaat worden vermeden door vezelversterkt beton te gebruiken met een voldoende treksterkte, d.w.z. minstens druksterkteklasse C40/50 (**Afd04**) en een breukenergie (*cracking energy*) van minstens 2700 Nm/m<sup>2</sup> (**Afd05**) (zie [R8-14] en zijn referenties). **Afd04** wordt geverifieerd volgens NBN EN 206-1, **Afd05** door laboproeven op werfproefstukken (NBN EN 14651). De mechanische sterkte is groter dan de trekkrachten die door krimp in het beton veroorzaakt worden [R8-14]. Wegens de moeilijkheid om de afwezigheid van doorgaande macro-scheuren aan te tonen (op een andere wijze dan door berekening), wordt de controle van dit criterium in de praktijk vertaald naar ‘geen macro-scheuren’. Dit zal gebeuren door visuele controle. De doenbare detectielimiet zal later vastgelegd worden. Verder mogen aardbevingen (DBE350) geen doorgaande scheuren tot gevolg hebben, zie DR12a.

Doorgaande scheuren in de klei worden vermeden door de klei te beschermen tegen uitdroging en door deze correct te verdichten. Om uitdroging te voorkomen moet volgens [R8-15] (§2.3.2.2.1-§2.5.2.6) de laag boven de klei minimaal 1,0 à 1,5 m dik zijn (**Afd06**) wat gecontroleerd zal worden door topografische opmetingen. De verdichting moet  $\geq 95$  % OPN (*Optimal Proctor Normal*) zijn (**Afd07**). De verdichting wordt gecontroleerd door metingen op de kleilaag. Voorafgaande metingen op testpanelen laten toe om makkelijker/snelere uitvoerbare proeven te kalibreren en deze later toe te passen bij de aanleg van de infiltratie-barrière.

- Voorziene proeven op de testpanelen
  - ▶ Verdichting: gamma densimeter en plaatproeven
- Voorziene proeven op de infiltratie-barrière
  - ▶ Verdichting: plaatproeven

**DR5.c De bovenzijde van de afdekking moet een voldoende helling hebben om run-off van neerslagwater mogelijk te maken**

*Van toepassing op: biologische laag*

Als minimale helling voor run-off wordt 2 % vooropgesteld wat in lijn is met [R8-16] en [R8-17] (§2.2.2.1). Tijdens de aanleg van de afdekking treden er (beperkte) differentiële zettingen op. De berekende differentiële zetting bedraagt 0,16 % in de richting tegen de aanwezige helling [OD-120], §4.8. Hoewel deze voor het grootste deel optreedt tijdens de bouwphase – en dus quasi geen invloed heeft op de finale helling – wordt als criterium voor de minimale initiële helling 2,5 % opgelegd (**Afd08**). De helling zal tijdens de bouw gecontroleerd worden door topografische opmeting en de voorziene helling bedraagt 5 %.

**DR5.d De bovenzijde van de afdekking moet een voldoende capacatieve werking hebben om de transfer naar de atmosfeer door evapo-transpiratie te bevorderen**

*Van toepassing op: begroeiing op afdekking (evapotranspiratie), biologische laag*

De capacatieve werking en evapo-transpiratie van de biologische laag en de begroeiing op de afdekking worden o.a. bepaald door de dikte en de samenstelling van de biologische laag en het type begroeiing. De referentiedikte van de biologische laag is 1,3 m. Ze bestaat uit drie sublagen:

- 1.a - Oppervlaktelaag (0,2 m)
  - ▶ Zelfde samenstelling als laag 1.b met toevoeging van 5 à 10% stenen en organisch materiaal
- 1.b - Tussenlaag (0,8 m)
  - ▶ 67% zand, 28% leem en 5% niet-zwellende klei
- 1.c - Transitie laag (0,3 m)
  - ▶ Fijn tot middelgrof zand

Sublagen 1.a en 1.b zorgen voor de capacatieve werking (zie §2.4.2.1 in [OD-158]) en volgende eigenschappen worden beoogd:

- Water retentiecapaciteit (totale porositeit): ~33 vol%
- Hydraulische geleidbaarheid:  $5 \cdot 10^{-6}$  -  $10^{-5}$  m/s

In de proefafdekking worden verschillende diktes en samenstellingen van de biologische laag getest (zie HS16, §16.7) en op basis van de resultaten zal het ontwerp van de biologische laag en zijn begroeiing verder geoptimaliseerd worden. Bovenstaande criteria worden dan indien nodig aangevuld en bijgestuurd.

#### **DR5.e Voldoende laterale drainage van water in de afdekking**

Van toepassing op: systeem “infiltratie-barrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusie laag en ophoging aan de zijdes”, systeem “ondoorlatende topplaat + laterale drainage door zandlaag en ophoging aan de zijdes”

Voor een goede laterale drainage in de afdekking is het nodig om een goed doorlatende laag bovenop een weinig doorlatende laag te hebben. De afdekking bevat twee zulke combinaties:

- Bio-intrusiebarrière bovenop de infiltratiebarrière
  - ▶ Bio-intrusiebarrière: de onderste sublaag van de bio-intrusiebarrière heeft een hoge hydraulische geleidbaarheid.
  - ▶ De infiltratiebarrière moet een lage hydraulische geleidbaarheid hebben (zie DR5.a).
  - ▶ Om te vermijden dat er een watertafel gevormd wordt bovenop de infiltratiebarrière is het voldoende dat deze niet helt in de richting van de centrale inspectiegalerij. Om rekening te houden met zettingen 0,16 % (zie DR5.c) en met toleranties tijdens de bouw en omdat een helling de laterale drainage bevordert, wordt voor deze component hetzelfde criterium opgelegd als voor de *surface run-off*, zijnde een minimale initiële helling van 2,5 % (**Afd08**) - zie ook DR5.c. De kleilaag heeft bovenaan een (initiële) helling van 5 %.
- Drainagelaag bovenop de ondoorlatende topplaat
  - ▶ Drainagelaag: deze laag heeft een hoge hydraulische geleidbaarheid.
  - ▶ De ondoorlatende topplaat moet een lage hydraulische geleidbaarheid hebben (zie DR5.a).
  - ▶ Om te vermijden dat er een watertafel gevormd wordt bovenop de ondoorlatende topplaat is het voldoende dat deze niet helt in de richting van de centrale inspectiegalerij. Om rekening te houden met zettingen 0,16 % (zie DR5.c) en met toleranties tijdens de bouw (die kleiner zijn voor een betonnen component dan voor een geo-component) en omdat een helling de laterale drainage bevordert, wordt voor deze component een minimale initiële helling opgelegd van 1,5 % (**Afd15**). Dit wordt gecontroleerd door topografische opmeting.

#### **DR7 Lage effectieve diffusiviteit**

Van toepassing op: ondoorlatende topplaat

De initiële effectieve diffusiviteit van de ondoorlatende topplaat moet laag zijn. Dit is het geval aangezien beton gebruikt wordt voor deze component<sup>22</sup>. De samenstelling van het beton moet nog ontwikkeld worden.

---

<sup>22</sup> De diffusiecoëfficiënt voor chloriden kan als conservatieve indicator gebruikt worden; voor beton C40/50 is de verwachte grootteorde  $10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s [R8-11].



### **DR9.a Weerstaan aan interne en externe sulfaataantasting**

Van toepassing op: ondoorlatende topplaat, vlotplaten

De aarden afdekking is een mogelijke beperkte bron van sulfaten (zie DR10). Het risico op interne en externe sulfaataantasting van de ondoorlatende topplaat en de vlotplaten wordt daarom beperkt door gebruik van een gepast type cement:

- HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1 (**Afd12**);
- Het gebruik van LA cement conform aan de norm NBN B12 109 (**Afd13**);
- De hydratatiewarmte wordt beperkt om de uithardingstemperatuur te beperken  $\leq 65^{\circ}\text{C}$  (**Afd14**). Deze waarde is van toepassing op voorwaarde dat ook criterium **Afd13** gerespecteerd wordt en het equivalent alkali-gehalte van het beton, berekend volgens de methode uit TRA 21-600:2008  $\leq 3 \text{ kg/m}^3$  is. Indien niet aan deze twee voorwaarden voldaan is dient de uithardingstemperatuur  $\leq 60^{\circ}\text{C}$  te zijn. Het ontwerp en de praktische procedures (o.a. toelaatbare initiële betontemperatuur) zijn afgestemd om deze maximale temperatuur te respecteren. Afhankelijk van de hydratatiewarmte van het cement (het aantal J/g op 41 uur volgens NBN EN 196-9) wordt de maximaal toelaatbare temperatuur van de betonspecie op het moment van storten vastgelegd. Deze waarde zal afgeleid worden op basis van numerieke modellen. Op basis van ervaring op de werf (vergelijking tussen gemodelleerde en geobserveerde temperaturen) kan deze praktische eis op de maximaal toelaatbare temperatuur van de betonspecie op het moment van storten bijgesteld worden.

Voor de gebruikte aggregaten geldt:

- Gebruik van niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO) met een laag gehalte aan silica ( $< 4 \%$ ) (**Afd18**).

Tijdens de bouw van de afdekking zullen deze criteria gecontroleerd worden door opvolging van de QA/QC-documenten van de leveranciers en door controles. De uithardingstemperatuur wordt gemeten op enkele kritieke plaatsen.

### **DR9.b Aanvaardbare samenstelling van de aggregaten met het oog op het vermijden van alkali-aggregaat-reacties**

Van toepassing op: ondoorlatende topplaat, vlotplaten

Alkali-silica reacties in de ondoorlatende topplaat en de vlotplaten worden vermeden door het gebruik van niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO) met een laag gehalte aan silica ( $< 4 \%$ ) (**Afd18**). Een bevestiging hiervan en een bevestiging van het niet-reactief gedrag van het aggregaat op het vlak van ASR moeten op de technische fiche vermeld zijn. Testen op de grondstoffen zullen op regelmatige basis uitgevoerd worden volgens normen ASTM C 1260 (*Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*) of equivalent en ASTM C 1293 (*Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction*) of equivalent. De eisen volgens deze twee testen zijn respectievelijk een expansie  $< 0,10 \%$  na 16 dagen (**Afd24**) en een expansie kleiner dan  $< 0,04 \%$  na één jaar (**Afd25**).

### **DR9.c Weerstaan aan vries-dooi cycli**

Van toepassing op: ondoorlatende topplaat, vlotplaten

De blootstelling aan vries-dooicycli van de ondoorlatende topplaat wordt beperkt door de aanwezigheid van de aarden afdekking. Om het risico op schade door vries-dooicycli verder te beperken, worden de volgende maatregelen getroffen (HS05, §5.3.2.8):

- Het beton moet voldoen aan de milieuklasse EE3 in overeenstemming met de normen NBN EN 206-1 en NBN B15-001, i.e.
  - ▶ Cement gehalte  $\geq 320 \text{ kg/m}^3$  (**Afd01**);
  - ▶ W/C  $\leq 0,5$  (**Afd02**);
  - ▶ Druksterkteklasse minstens C30/37 (**Afd04** is omhullend hieraan).
  - ▶ Weerstand van aggregaten moet conform aan de norm NBN EN 1367-1:2007 of 2:2010 gemeten worden (**Afd19**)

**Afd04** wordt geverifieerd volgens NBN EN 206-1, de eerste twee criteria in documenten van de leveranciers en door controles op grondstoffen.

De aanbevelingen van de norm NBN EN 13670 moeten gevolgd worden om te zorgen dat het beton op jonge leeftijd niet aan vries-dooi cycli blootgesteld wordt.

#### **DR9.e Trage erosiesnelheid**

*Van toepassing op: begroeiing op afdekking (evapotranspiratie), biologische laag, bio-intrusie laag*

De erosie van de biologische laag wordt beperkt door:

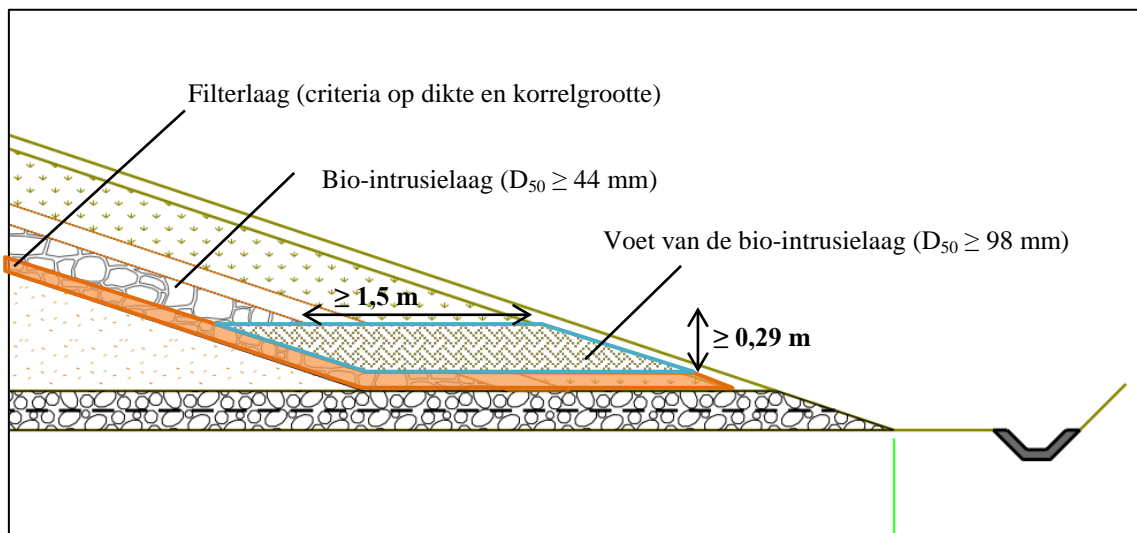
- het beperken van de hellingsgraad van het gedeelte boven de modules:  $\leq 5 \%$  (**Afd21**). Dit zal tijdens de aanleg gecontroleerd worden door topografische opmeting.
- de aanwezigheid van grassen, de bodemlaag (toplaag) wordt samengesteld om optimale condities te creëren voor plantengroei, en meer bepaald voor grassen. Mogelijke grassoort is *Festuca Rubra* [R8-18].

De erosie van de biologische laag wordt door deze maatregelen sterk beperkt maar kan op langere termijn niet uitgesloten worden. De bio-intrusie barrière bestaande uit grotere hoekige gesteentefragmenten heeft echter een stabiliserende werking op de erosiecapaciteit van het water zodat onderliggende lagen beschermd blijven en hun functie kunnen blijven vervullen. Hiertoe worden de richtlijnen van Appendix D van [R8-20] gevolgd wat – rekening houdend met regenintensiteit die overeenkomt met een retourperiode van 1225 jaar, inclusief klimaatwijziging - resulteert in de volgende criteria voor de bio-intrusiebarrière [R8-20] (**Afd22**); zie ook Figuur 8-25:

- mediaan diameter ( $D_{50}$ ):  $\geq 44 \text{ mm}$
- minimale dikte van de laag:  $1,5 \times D_{50}$  of  $D_{100}$  (afhankelijk van welk van beide waarden de grootste is)
- filterlaag:
  - ▶ Minimale dikte: 15 cm
  - ▶ Korrelgroottes tussen 4,7 en 76,2 mm
  - ▶  $D_{15}(\text{filter}) < 5 \cdot D_{85}(\text{base})$
- eisen specifiek voor de voet van de bio-intrusie laag (=overgang tussen de helling van de afdekking en het natuurlijke terrein):

- ▶ mediaan diameter (D<sub>50</sub>): ≥ 98 mm
- ▶ lengte: ≥ 1,5 m
- ▶ dikte : ≥ 0,29 m

Deze criteria zullen bij de aanleg gecontroleerd worden door topografische opmeting (afmetingen) en korrelgrootte-analyses (technische fiches en metingen op stalen ontnomen op de werf volgens NF P 94-056 en 057).



Figuur 8-25: Conformiteitscriteria voor de bio-intrusiebarrière.

#### DR9.f Bio-intrusie voorkomen

Van toepassing op: bio-intrusie laag

Om bio-intrusie te voorkomen is een bio-intrusiebarrière voorzien. De volgende criteria worden opgelegd:

- Korrelgrootte<sup>23</sup>: minimaal 0/120 (**Afd23**)
- Hoekigheid: C90/3 (**Afd03**)
  - ▶ minimaal 90% gebroken materiaal
  - ▶ maximaal 3% afgerond materiaal

Deze criteria zullen bij de aanleg gecontroleerd worden door korrelgrootte-analyses (technische fiches en metingen op stalen ontnomen op de werf volgens NF P 94-056 en 057) en analyses volgens NF EN 933-5 voor de hoekigheid.

#### DR10 Compatibele materialen gebruiken

Van toepassing op: begroeiing op afdekking (evapotranspiratie), bio-intrusie laag, systeem “infiltratie-barrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusie laag en ophoging aan de zijdes”

<sup>23</sup> Dit is in lijn met § 2.3.2.2.5 van [R8-17], waarin een maximale diameter tussen 100 en 200 mm vooropgesteld wordt als preventie tegen gravende dieren.

(infiltratie-barrière (klei), ophoging aan de zijdes), GCL in de infiltratiebarrière, systeem “ondoorlatende topplaat + laterale drainage door zandlaag en ophoging aan de zijdes”, HDPE op de ondoorlatende topplaat en vlotplaten, ondoorlatende topplaat, vlotplaten, bitumen op structurele topplaat

Om de compatibiliteit van de klei en de onderliggende betonnen componenten te verzekeren is de maximale toelaatbare sulfaatconcentratie in de klei (*total potential sulfate content*) 1,2 gew% (**Afd09**) (zie HS05 §5.2.1.3). Dit wordt gecontroleerd door labo-analyses op de klei.

Het volledig dichtslibben van de drainagelaag boven de ondoorlatende topplaat is onwaarschijnlijk door de aanwezigheid van geotextielen. Bovendien worden filtercriteria opgelegd gebaseerd op [R8-21], d.w.z. dat er onderlinge afstemming is van de granulometrieën van het zand van de drainagelaag en de bovenliggende klei.

Voor het aspect ASR in de ondoorlatende topplaat: zie DR9.b.

Het materiaal van de geotextielen en geomembranen is (HD)PE. Deze materialen zijn compatibel met de rest van de SSC's (zie HS05, §5.13).

#### **DR12.a Weerstaan aan de DBE350**

Van toepassing op: ondoorlatende topplaat

Via berekening werd nagegaan dat de ondoorlatende topplaat weerstaat (geen doorgaande scheuren) aan de DBE350 [R8-14]. Hiertoe moet het beton minstens van druksterkteklasse C40/50 zijn (**Afd04**) en een breukenergie (*cracking energy*) van minstens 2700 Nm/m<sup>2</sup> (**Afd05**) hebben (zie [R8-14] en zijn referenties). Er wordt gestreefd naar een *strain hardening* gedrag (zie HS05, §5.5.1.2.1). De sterkteklasse en de breukenergie zullen getest worden door laboproeven op aangemaakte werfproefstukken (geen kernen uit het werk).

#### **DR12.b Weerstaan aan de DBE50**

Van toepassing op: bio-intrusielaag, systeem “infiltratie-barrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusielaag en ophoging aan de zijdes” (infiltratie-barrière (klei), ophoging aan de zijdes), ondoorlatende topplaat

De afdekking (met uitzondering van de biologische laag) moet stabiel zijn bij een aardbeving van de grootte DBE50. Dit werd nagegaan via berekening (zie §8.5.7.3) waarbij de berekende veiligheidsfactor minstens 1,1 moet bedragen. Om de stabiliteit van de afdekking te garanderen zijn de hellingen van het gedeelte boven en naast de modules respectievelijk beperkt tot 5 % (**Afd21**) en 33 % (**Afd10**). Dit zal gecontroleerd worden door topografische opmeting tijdens de constructie.

De materiaaleigenschappen van de verschillende lagen van de aarden afdekking zullen voor de aanleg getest worden op testvlakken (ter controle van de verdichtingsstrategie) en nadien door controles op het werk.

#### **DR12.c Weerstaan aan de ontwerp klimaatbelastingen**

Van toepassing op: begroeiing op afdekking (evapotranspiratie), biologische laag, bio-intrusielaag, systeem “infiltratie-barrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusielaag en ophoging aan de zijdes”

De relevante klimaatbelastingen voor de aarden afdekking zijn regenval en uitdroging.

- Voor weerstand tegen regenval (erosie): zie DR9.e.

- Voor weerstand tegen uitdroging: zie DR5.d voor de capacitieve werking van de bovenste lagen en DR5.b voor uitdroging van de kleilaag.

#### **DR18 De afdekking moet alle modules beschermen**

*Van toepassing op: begroeiing op afdekking (evapotranspiratie), bio-intrusie laag, systeem “infiltratie-barrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusie laag en ophoging aan de zijdes”, GCL in de infiltratiebarrière, systeem “ondoortalende topplaat + laterale drainage door zandlaag en ophoging aan de zijdes”, HDPE op de ondoortalende topplaat en vlotplaten, ondoortalende topplaat, bitumen op structurele topplaat*

De afdekking is voorzien over alle modules.

#### **DR25.a Weerstaan aan de statische belastingen**

*Van toepassing op: bio-intrusie laag, GCL in de infiltratiebarrière, HDPE op de ondoortalende topplaat en vlotplaten, ondoortalende topplaat, vlotplaten*

De weerstand aan de statische belasting werd geverifieerd door berekening (zie §8.5.7.3) waarbij de berekende veiligheidsfactor minstens 1,5 moet bedragen. De criteria en testen uit DR12a/b. zijn omhullend.

#### **DR25.b Weerstaan aan de dynamische belastingen**

*Van toepassing op: ondoortalende topplaat*

Bij de dimensionering van de ondoortalende topplaat werd ook rekening gehouden met de operationele belastingen tijdens de constructie van de aarden afdekking [R8-14]. De criteria van DR12.a zijn omhullend.

#### **DR25.c Beperken van de differentiële zettingen van de afdekking**

*Van toepassing op: vlotplaten*

Het doel van vlotplaten is het minder abrupt maken van de overgang tussen een weinig en een meer samendrukbare zone in een bouwwerk, in casu de modules en de zijophoging. Om dit doel te bereiken wordt een plaat gerealiseerd ter hoogte van de overgang tussen de twee zones, de aanhechting van deze plaat wordt (licht) roterend uitgevoerd.

De vlotplaten beperken de differentiële zetting van de bovenliggende lagen doordat ze enige rotatie kunnen ondergaan. Er werd een maximale differentiële zetting van 5 mm gemodelleerd over de lengte van 5,8 m wat overeenkomt met 0,05° ([OD-166], §10).

#### **DR26 De afdekking moet de onderliggende componenten tegen chemische degradatie (incl. carbonatatie) en vorst beschermen**

*Van toepassing op: bio-intrusie laag, systeem “ondoortalende topplaat + laterale drainage door zandlaag en ophoging aan de zijdes”, HDPE op de ondoortalende topplaat en vlotplaten, ondoortalende topplaat, bitumen op structurele topplaat*

Voor bescherming tegen vorst is een minimale laagdikte van 0,5 m vereist (**Afd11**), zie §3.3.1.2 in [OD-065]. Dit criterium wordt geverifieerd door topografische opmeting. De afdekking beschermt de onderliggende componenten tegen chemische degradatie door:

- het verzekeren van ingegraven omstandigheden (**Afd11** is omhullend);

- aanwezigheid van het HDPE-membraan en de bitumenlaag op de structurele topplaat die chemische aantasting van de onderliggende componenten helpen beperken.

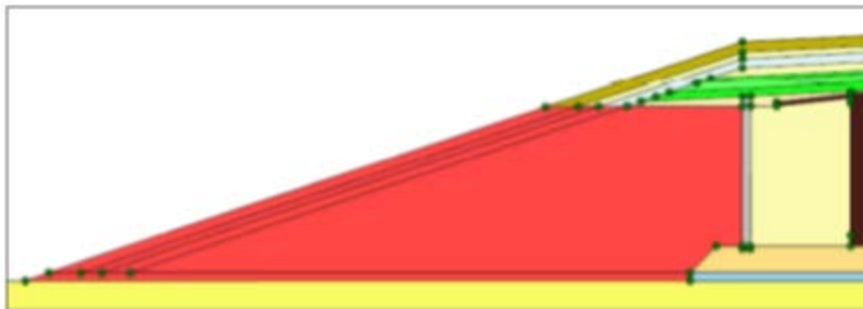
### 8.5.7.3 Ontwerpberekeningen

#### Aarden afdekking

De ontwerpberekeningen van de aarden afdekking worden beschreven in [OD-158], meer bepaald in §4 en appendix 1. Dit ondersteunende document refereert ook naar [OD-161] dat een eindige elementen berekening beschrijft met de FLAC<sup>24</sup> code.

Om het gedrag van de aarden afdekking onder seismische belasting te begrijpen, werd de stabiliteit van de aarden afdekking geëvalueerd. Er worden twee types berekeningen uitgevoerd:

- Het model is zo opgebouwd dat in termen van **algehele stabiliteit** falen zou kunnen optreden in de gehele aarden afdekking (functionele lagen en ophogingen aan de zijdes).
- In termen van **intrinsieke stabiliteit**, wordt het rode gedeelte in Figuur 8-26 beschouwd als lineair elastisch. Er kan zich bijgevolg alleen schade voordoen in de andere delen van de afdekking, dit wil zeggen in de functionele lagen boven de modules.



**Figuur 8-26: Bodemlagen (rood) die voor de analyse van de intrinsieke stabiliteit een lineair elastisch gedrag vertonen.**

Veiligheidsfactoren werden aan de hand van een pseudo-statische methode bepaald, met behulp van PLAXIS-software. PLAXIS is een eindig elementen computerprogramma voor verschillende soorten geotechnische toepassingen waarbij materiaalmodellen worden gebruikt om het gedrag van de bodem te simuleren. Materialen worden vertegenwoordigd door driehoekige elementen binnen een tweedimensionaal raster dat is aangepast aan de vorm van het object dat wordt gemodelleerd.

Voor de pseudo-statische berekening worden de volgende veiligheidsfactoren (SF) beoogd:

- langetermijn stabiliteit (statische omstandigheden):  $SF > 1,5$
- langetermijn stabiliteit (dynamisch omstandigheden):  $SF > 1,1$

Tabel 8-23 vat de resultaten samen, zowel voor de situatie met een intacte aarden afdekking als voor een configuratie zonder biologische laag, wat omhullend is voor de mogelijke gevolgen van erosie. De resultaten tonen aan dat voldaan is aan DR12.b en DR25.a (zie §8.5.7.2). De resultaten tonen ook aan dat

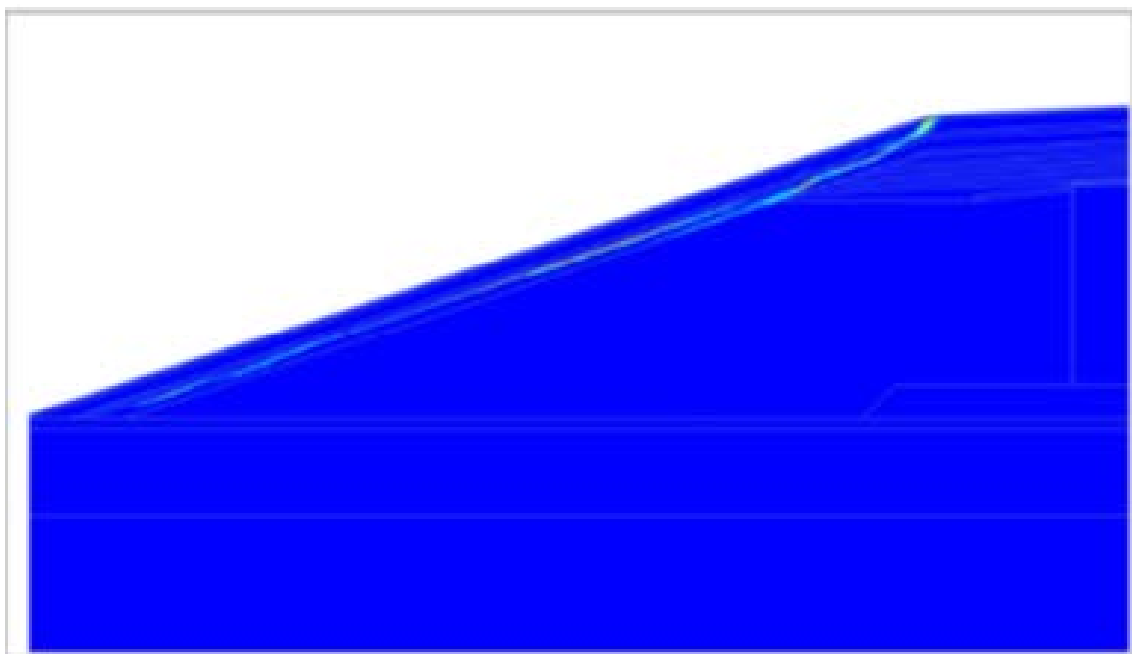
---

<sup>24</sup> Deze berekening was gebaseerd op een vorige versie van de seismische spectra en wordt beschreven in Versie 2 van dit Hoofdstuk. De algemene conclusies blijven waardevol en worden bevestigd door de berekeningen in [OD-158]

voor de DBE350 de intrinsieke stabiliteit gegarandeerd is voor de intacte configuratie. De algehele stabiliteit is dat niet, idem voor de stabiliteit in de configuratie met geërodeerde biologische laag. De analyse toont dat het in deze gevallen gaat om oppervlakkige storingen, die gemakkelijk kunnen worden hersteld en die geen onmiddellijke invloed hebben op de functionaliteit van de afdekking boven de modules. Figuur 8-27 illustreert dit; de figuur toont de incrementele rekken bij DBE 350 (algehele stabiliteit).

**Tabel 8-23: Berekende veiligheidsfactoren voor de PLAXIS-berekening van de aarden afdekking (naar Table 5 van appendix 1 aan [OD-158]).**

| Beschouwde belasting            | Intacte afdekking (met biologische laag)  |  | Geërodeerde afdekking (zonder biologische laag) |  |
|---------------------------------|---|--|---|--|
|                                 | Berekende SF voor de algehele stabiliteit | Berekende SF voor de intrinsieke stabiliteit | Berekende SF voor de algehele stabiliteit       | Berekende SF voor de intrinsieke stabiliteit |
| Statische analyse               | 2,12                                      | 2,41   | 2,20  | 2,20   |
| Pseudo-statische analyse DBE50  | 1,60                                      | 1,92   | 1,60  | 1,60   |
| Pseudo-statische analyse DBE350 | < 1,00                                    | 1,14   | < 1,00  | 1,01   |



**Figuur 8-27: Incrementele rekken bij DBE 350 (algehele stabiliteit); PLAXIS berekening (Figure 8 uit appendix 1 aan [OD-158]).**

### Ondoorlatende topplaat

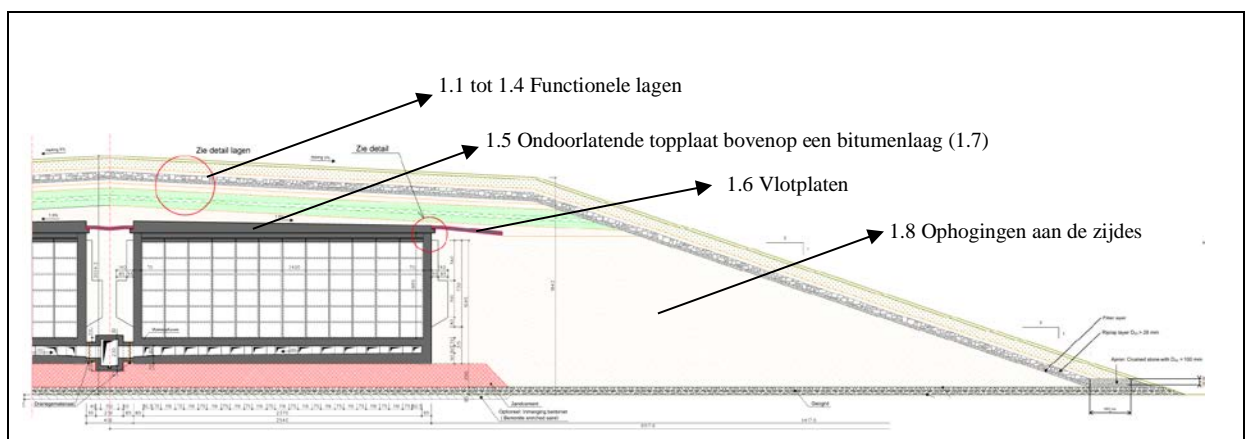
[R8-14] toont aan dat de ondoorlatende topplaat weerstaat aan de beschouwde belastingen, zijnde krimp (hypothese = 600  $\mu\text{m}/\text{m}$ ), eigengewicht en seismische belasting (DBE350). Hiervoor wordt een ANSYS model gebruikt. Aangezien de betonsamenstelling van de ondoorlatende topplaat nog niet afgerond is (vezelversterkt beton) worden volgende hypothesen genomen omtrent de materiaalparameters:

- Dichtheid  $\rho = 2400 \text{ kg}/\text{m}^3$
- E-modulus  $E = 35000 \text{ MPa}$
- Poisson ratio  $\nu = 0,2$
- Thermische uitzettingscoëfficiënt  $\alpha = 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$
- Druksterkte  $f_{\text{ck}} = 40 \text{ MPa}$
- Treksterkte  $f_{\text{ctk}} = 2,5 \text{ MPa}$

#### 8.5.7.4 Beschrijving van het ontwerp

De afdekking is samengesteld uit de volgende belangrijke onderdelen (Figuur 8-28):

- een aarden afdekking bestaande uit vier functionele sublagen: een biologische laag (1.1), een bio-intrusie barrière (1.2), een infiltratie barrière (1.3), een zandlaag of vullaag die dienst doet als drainagelaag (1.4);
- een ondoorlatende topplaat (1.5);
- vlotplaten (1.6);
- een bitumenlaag (1.7);
- en de ophoging aan de zijdes (1.8).



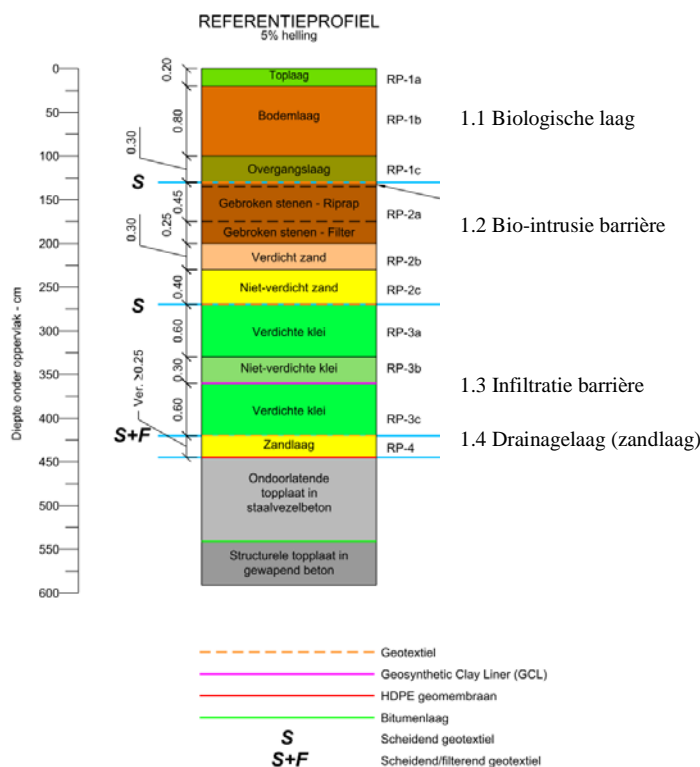
Figuur 8-28: Schematische weergave van het bergingssysteem en de afdekkingscomponenten.

Voor de afdekking wordt momenteel een referentieprofiel (Figuur 8-29) en een alternatief profiel gedefinieerd; beide zullen in de proefafdekking getest worden. Het huidige document richt zich op het referentieprofiel. Alternatieven kunnen beschouwd worden als een performantie verzekerd is die (ten minste) gelijk is aan de referentieoplossing.



Twee belangrijke principes worden toegepast: laterale drainage van water bovenaan een **infiltratie barrière** en het toepassen van een **capacitieve barrière** die het mogelijk maakt om water op te slaan voordat het transfereert naar de atmosfeer door evapo-transpiratie.

De helling van de afdekking boven de modules bedraagt 5 %. De helling van de afdekking boven de ophoging aan de zijdes is 3:1 (33 %). De biologische barrière en de bovenste laag van de bio-intrusie barrière zijn doorlopend aanwezig tot onderaan de 3:1 helling. De andere lagen zijn slechts aanwezig in de 5 % helling. Zij lopen door tot op de bodem van de grove grindlaag (zie verder).



Figuur 8-29: Referentieprofiel voor de afdekking.

De beschrijving van de afdekking wordt hieronder gegeven. Met betrekking tot de aarden afdekking zijn de vermelde diktes deze van het huidige referentieprofiel.

De eerste functionele laag van de aarden afdekking is de **biologische laag (1.1)** deze bestaat uit een *toplaag* (20 cm) gemaakt van bodemmateriaal gemengd met grind om erosie te verminderen en met organische stoffen om plantengroei te bevorderen, een *bodemlaag* (80 cm) bestaande uit zanderig materiaal, en een *overgangslaag* (30 cm) gerealiseerd uit verdicht zand met als doel het beperken van de vermenging van bovenliggende met onderliggende lagen. Bij het alternatieve profiel is een dikkere bodemlaag voorzien met een iets fijnere textuur (meer leemhoudend), met als doel de waterbergingscapaciteit te vergroten.

De tweede laag is de **bio-intrusie barrière (1.2)** die bestaat uit een *grove grindlaag* (70 cm) en zo een barrière vormt tegen diep gravende dieren, een *verdichte zandlaag* (30 cm) die een barrière vormt tegen flora en fauna, een *niet-verdichte zandlaag* (40 cm) om het water lateraal af te voeren. De grove grindlaag is opgedeeld in een gedeelte *riprap* (0,45 m) en een filterlaag (0,25 m).

De **infiltratiebarrière (1.3)** heeft verschillende samenstellingen in beide profielen. In het referentieprofiel is deze barrière opgebouwd uit een *verdichte kleilaag* (60 cm) om de onderliggende klei te beschermen tegen uitdroging, een *niet-verdichte kleilaag* (30 cm) bovenop een *GCL* en een tweede *verdichte kleilaag* (60 cm).

De laatste laag van de aarden afdekking is de **zandlaag** (of opvullaag,  $\geq 25$  cm) **(1.4)** die geplaatst wordt bovenop de ondoorlatende topplaat en die water afvoert naar de laterale **zij-ophogingen (1.8)**. Deze laag biedt tevens ondersteuning om de bovenliggende lagen te realiseren.

De **ondoorlatende topplaat (1.5)** is een niet-structurele dikke betonnen component ( $\geq 70$  cm). De referentieoplossing voor de ondoorlatende topplaat is vezelversterkt beton. Er worden hiervoor staalvezels gebruikt (zie HS05, §5.5), type Dramix of equivalent. Er zijn geen klassieke wapeningsstaven voorzien.

De **vlotplaten (1.6)** zijn betonnen platen, geplaatst langs de volledige omtrek van de ondoorlatende topplaat. Zij beperken de zetting ter hoogte van de overgang tussen de module en de laterale ophoging, dit om nadelige schuifspanningen in de aarden afdekking, als gevolg van wijzigende stijfheid in de onderliggende structuren, te vermijden. De vlotplaten verzamelen eveneens geïnfiltreerd water, afkomstig van de bovenste lagen van de afdekking, en leiden dit verder weg van de modulewanden. De detailuitwerking van de vlotplaten zal gebaseerd zijn op bestaande, gekende technieken die hun doenbaarheid bewezen hebben in de praktijk. Technische ontwerpen van reeds gerealiseerde projecten, zoals de vlotplaten toegepast in het Diabolo-project te Zaventem (opgeleverd in 2012), zullen als basis dienen.

De **bitumenlaag (1.7)** zal de structurele topplaat volledig afdekken vooraleer het stalen dak verwijderd wordt. Ze zorgt dan tijdelijk voor de waterdichtheid en ze beperkt het verschijnen van scheuren in de ondoorlatende topplaat; met name door het ongehinderd vrij krimpen van het beton van de ondoorlatende topplaat mogelijk te maken.

De **zandophoging (1.8)** wordt gerealiseerd met verdicht zand om alle holtes tussen de modules op te vullen. De laterale ophoging wordt gerealiseerd met verdicht zand waarbij een natuurlijke, graduele (3:1) overgang tussen de bovenkant van de afdekking en het natuurlijk grondniveau wordt bekomen.

De afdekking bevat ook diverse geosynthetische materialen. Voor hun rol, eigenschappen en verwacht gedrag: zie HS05 (§5.13.1).

Overwegingen over de hydraulische prestaties van de aarden afdekking worden gegeven in HS05, §5.2.1.4.

## **8.5.8 Manutentiewerktuigen**

### **8.5.8.1 Specifieke ontwerpnormen en voorschriften**

#### **Rolbrug**

De structurele integriteit wordt gewaarborgd door de criteria op de toegelaten spanning, voornamelijk door de normen NBN E52-002/003/004, NBN B51-001 en NUREG 0554 voor verschillende belastingscombinaties.

De seismische analyse moet worden uitgevoerd in overeenstemming met de SRP 3.7.2 en SRP 3.7.3. De modale en ruimtelijke combinaties worden beschreven door de Amerikaanse NRC - RG 1.92.

## Trolley

EN12663-2 *Structural requirement of railway vehicle bodies* en EN 15085-5 *Welding of railway vehicles and components*.

### 8.5.8.2 Ontwerpvereisten

De ontwerpvereisten van toepassing op de manutentiewerktuigen zijn gegeven in Tabel 8-24 (hernomen uit Bijlage 2).

Tabel 8-24: Ontwerpvereisten van toepassing op de manutentiewerktuigen

| SSC                    | Ontwerpvereisten (DR) |    |      |      |      |      |      |
|------------------------|-----------------------|----|------|------|------|------|------|
|                        | 2.a                   | 11 | 12.b | 12.c | 13.a | 25.a | 25.b |
| 10. Transportcontainer |                       | X  |      |      |      |      |      |
| 11. Rolbrug            |                       |    |      |      |      |      |      |
| 11.1 Kraan             |                       |    | X    | X    | X    | X    | X    |
| 11.2 Grijper           |                       |    |      | X    | X    | X    | X    |
| 12. Trolley            |                       |    |      | X    |      | X    | X    |

#### DR11 Afscherming verzekeren

Van toepassing op: transportcontainer

Het ontwerp van een transportcontainer moet voldoen aan de volgende vereisten:

- Het stralingsniveau op het buitenoppervlak van de transportcontainer is lager dan 2 mSv/h en het stralingsniveau op 2 m afstand van elk punt van het buitenoppervlak is lager dan 100 µSv/h (zoals aanbevolen door de IAEA-richtlijn TS-R-1). Het beschouwde maximale dosistempo van de monolieten bedraagt 20 mSv/h. Indien de container gemaakt wordt van koolstofstaal betekent dit dat de dikte 9,5 cm moet bedragen aan de zijkanten en 5,4 cm aan de boven- en onderzijdes (**Man01**), zie [OD-094]. Andere materialen zijn mogelijk (bv. lood of een combinatie), in dat geval moet een equivalente dikte gebruikt worden. Dit wordt gecontroleerd op de uitvoeringsplannen en door meting tijdens fabricage.
- De montage van de transportcontainer wordt zodanig uitgevoerd dat de afscherming, zonder uitzondering, voldoet voor het stralingsniveau van de geladen monoliet. Het principe van het overlappen van platen is van toepassing om de effectiviteit van de afscherming over de hele oppervlakte van de transportcontainer te waarborgen.

#### DR12.b Weerstaan aan de DBE50

Van toepassing op: kraan

De rolbruggen moeten ontworpen zijn om te weerstaan aan een aardbeving DBE50. Dit wil zeggen dat de bruggen niet van de kraanbaan mogen vallen. Om dit te verzekeren zijn de rolbruggen uitgerust met anti-seismische klemmen [OD-168], §5.8.5.

#### DR12.c Weerstaan aan de ontwerp klimaatbelastingen

Van toepassing op: kraan, grijper, trolley

De trolleys zijn ontworpen om de transportcontainer (en de monoliet) te beschermen tegen regen. Uiteraard is deze bescherming intrekbaar om de manutentie van monolieten in/uit de transportcontainer

mogelijk te maken. De gebruikstemperatuur van de trolleys is  $-20\text{ °C} - +40\text{ °C}$  [OD-168] (§6.5.2) en ze worden ontworpen om te weerstaan aan een windbelasting van  $1,232\text{ kN/m}^2$  (zie Tabel 8-2).

De rolbrug bevindt zich binnen de geïsoleerde dakstructuur. De temperatuursvariaties zijn dus beperkt (zie § 8.3.2.1) zodat geen specifieke eisen hieromtrent nodig zijn [OD-168], (§3.3.1).

#### **DR13.a Een SFP brug voorzien**

*Van toepassing op: kraan, grijper*

Er is een SFP brug voorzien: het ontwerp en de constructie van de rolbrug (kraan en grijper) gebeuren conform NUREG-0554 [OD-168] (§5.1).

#### **DR25.a Weerstaan aan de statische belastingen**

*Van toepassing op: kraan, grijper, trolley*

Zie DR25.b.

#### **DR25.b Weerstaan aan de dynamische belastingen**

*Van toepassing op: kraan, grijper, trolley*

De belastingscombinaties voor de rolbrug (statisch en dynamisch) zijn vastgelegd in de van toepassing zijnde normen (zie §8.5.8.1).

De statische belasting van de trolley bestaat uit zijn eigen uitrusting (gewicht te bepalen door de leverancier), het gewicht van de transportcontainer (~15 ton) en het gewicht van de lading (maximaal 22 ton). De dynamische belasting bestaat vnl. uit belasting tijdens het versnellen en vertragen van de trolley en het laden/ontladen van de monoliet. Het ontwerp zal gecontroleerd worden volgens de van toepassing zijnde normen (zie §8.5.8.1).

OPMERKING: het detailontwerp gebeurt door de leverancier van de rolbruggen en de trolleys en wordt gecontroleerd door het studiebureau en het onafhankelijk technisch controlebureau alvorens het goedgekeurd kan worden door NIRAS.

### **8.5.8.3 Ontwerpberekeningen**

Uit te voeren door de leverancier. De leverancier zal een overzichtstabel voorbereiden met een overzicht van de verschillende belastingscombinaties die bij de berekeningen in rekening werden genomen en legt deze ter goedkeuring voor aan NIRAS. Deze tabel zal bevatten:

- het geïdentificeerde toestel (mechanisme, framework...);
- de geïdentificeerde belastingscombinatie (bijvoorbeeld: 3 W);
- de spanningscriteria waaraan moet worden voldaan;
- de gebruiksvereisten

De verschillende belastingscombinaties zijn gedefinieerd in de van toepassing zijnde voorschriften (zie §8.5.8.1).

De seismische studie veronderstelt dat de last zich in elke positie kan bevinden. Bijkomend dient de afwezigheid van een last eveneens bestudeerd te worden. De verschillende belastingscombinaties die gespecificeerd zijn door NUREG 0554 worden uitgevoerd conform de NBN normen. Bijvoorbeeld: de

proefbelastingen vereist door NUREG 0554 zijn opgenomen in de belastingsgevallen zoals gespecificeerd in § 1.1.3 van NBN B51-001.

#### 8.5.8.4 Beschrijving van het ontwerp

##### Gewenste plaatsingstolerantie

De nominale opening tussen monolietstapels bedraagt 5 cm. Vanuit praktische overwegingen (e.g. beperken van afwijkingen op de nominale breedte van de tussenruimten tussen monolietstapels) wordt er voor de monolieten een toegelaten afwijking opgelegd op de plaatsingsvereiste t.o.v. de theoretische absolute positie: +/- 10 mm en dit voor elke as (X en Y). Dit resulteert in een maximale afwijking van de tussenruimte tussen monolietstapels van +/-20 mm (per as).

Om bovenstaande maximale tolerantie te respecteren wordt de rolbrug uitgerust met meetapparatuur (lasers) en worden er vaste punten geplaatst op de modulewanden. Op deze wijze heeft de grijper een vaste basis t.o.v. de module (en dus onafhankelijk van kleine tweede-orde bewegingen van de stalen dakstructuur onder invloed van bv. windbelasting) en kan de positionering gebeuren met een grote nauwkeurigheid (verwachte grootteorde 5 mm). Doordat er steeds getracht wordt de monolieten op hun theoretische positie te plaatsen, is er geen propagatie van afwijkingen doorheen de stapeling.

Zie HS07 (§7.4.2.2) voor een beschouwing omtrent de mogelijke impact van afwijkingen van de geometrie van de monolieten (toleranties op de buitenafmetingen van de monolieten zijn +/- 2 mm) in combinatie met de plaatsingstoleranties.

##### Onderdelen

De berging van de monolieten in de modules gebeurt met een afstandsbediend systeem dat bediend wordt vanuit de controlekamer in de toegangscluster. De uitbating is gebaseerd op werkdagen van 8 uren en een capaciteit van ongeveer 1000 transporten per jaar.

Elke monoliet wordt voorbereid in de IPM waar hij wordt geladen in een afgeschermd container die bevestigd is op een afstandsbediende trolley. Van zodra de transfer van de monoliet is geregistreerd, verlaat de trolley het gebouw en rijdt naar een vooraf bepaalde positie tussen twee modules in uitbating, beschermd door het stalen dak. Vervolgens grijpt de grijper van de rolbrug de monoliet voor berging in de module.

Het besturingssysteem is gebaseerd op een stapsgewijze werking, waarbij elke volgende stap alleen mogelijk is na verificatie van de gepaste transfervoorwaarden.

De **rolbrug** bestaat uit drie belangrijke componenten (Figuur 8-30):

- De rolbaan (met een overspanning van ongeveer 26,7 m), die verbonden is met de stalen structuur;
- De brug, die over de rolbaan rijdt
- De loopkat, die de brug dwarst

NIRAS opteert ervoor om de rolbruggen van de modules SFP uit te voeren zoals gedefinieerd in NUREG 0554. De NBN classificaties van de rolbrug en de structuur zijn volgens Groep 4 (kraan) en M8 (aandrijfmechanisme).

De kraan wordt beschouwd als een rolbrug die voorzien is van de volgende hijsystemen:

- Hoofdtakel geïnstalleerd op de loopkat voor de manutentie van monolieten en afschermingsplaten;

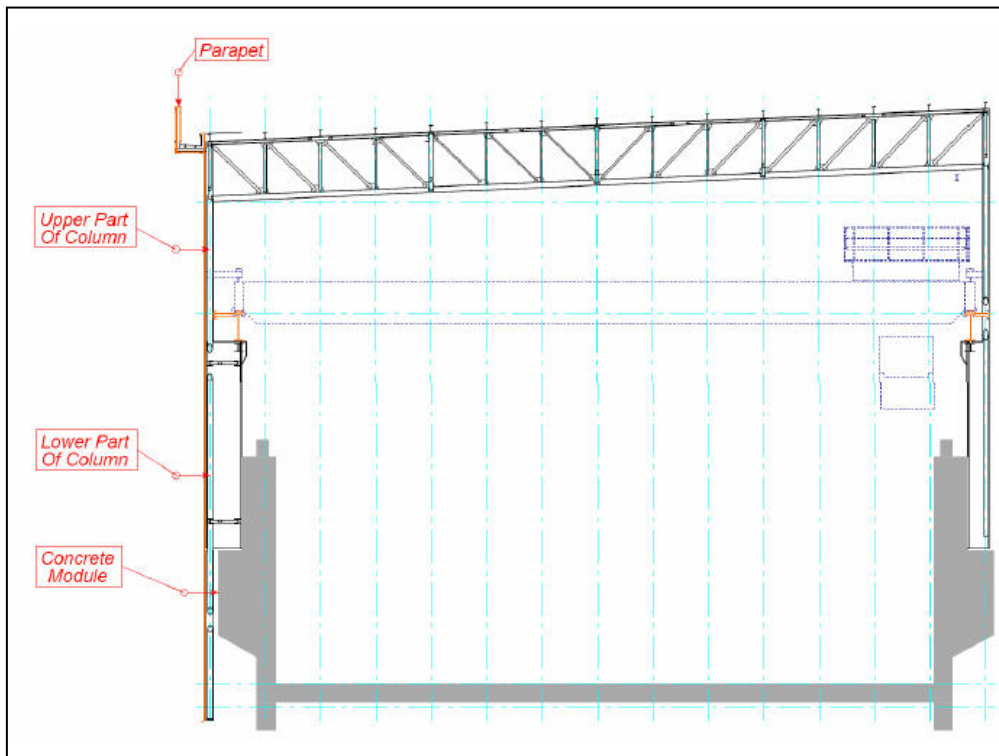
- Hulpmonorail takels van 50 kN gemonteerd langs de hoofdliggers. De monorail takels laten toe om klassieke hulphandelingen sneller uit te voeren.

De nominale capaciteit van de rolbrug (W) bedraagt 220 kN ter hoogte van de vingers van de grijper. De maximum hijsnelheid bedraagt 4 m/min<sup>25</sup>. De maximale snelheid voor brug- en grijperbeweging bedraagt 15 m/min. De toegelaten afwijking van de hoofdliggers bedraagt 1/1000 van hun overspanning bij een statische MCL (*Maximum Critical Load*).

Tijdens de manutentie moet de impuls, die gegeven wordt door de operator, verzekeren dat:

- Voor het hijsen er een afwijking is van minder dan 2 mm in beide richtingen;
- Voor de horizontale verplaatsing er een afwijking is van minder dan 5 mm in beide richtingen.

De startbewegingen worden steeds aan lage snelheid uitgevoerd. De versnelling moet progressief en vloeiend gebeuren met de mogelijkheid om tussenliggende snelheden aan te houden. Elke plotse start moet voor de operator onmogelijk gemaakt worden (opgelegde versnellingshelling).



Figuur 8-30: Doorsnede met de elementen van een module, de stalen dakconstructie en de rolbrug.

<sup>25</sup> Deze snelheid volgt uit het feit dat de snelheid als 'slow' beschouwd dient te worden volgens figuur 70-6 van *CMAA specification #70*. Volgens de versie van 1975, dewelke de versie is die van toepassing was op datum van publicatie van de huidige versie van NUREG0554, bedraagt deze snelheid 15 voet/min (= 4.572 m/min).

In geval van immobilisatie van de rolbrug tijdens het behandelen van een monoliet kan beroep gedaan worden op een **emergency box** die het manueel verplaatsen van de rolbrug verder kan verzekeren. De *emergency box* is een metalen koffer die draagbaar (of op zijn minst transporteerbaar) is waarop de volgende elementen aangesloten worden:

- De bediening van de remmen.
- Een operationele snelheidssensor.

De *emergency box* is voorzien van knoppen die het openen en sluiten van de aangesloten remmen controleren. Voor de voeding van de remmen, moet de *emergency box* aangesloten worden op een externe voeding (220 V, enkele 100'en Watt volstaat). Dit gebeurt door aan te sluiten op een stopcontact dat gevoed wordt door de nooddiesel van de site<sup>26</sup>. De exacte inhoud en opbouw van de *emergency box* is functie van het design van de rolbrug en moet samen met de rolbrug ontworpen en geleverd worden.

Het ontwerp van de **grijper** omvat:

- Een systeem om de grijper te centreren op de te hijsen monoliet;
- De hijsvingers en eindschakelaars;
- Een sensorsysteem voor het vertragen en stoppen van de hijsbeweging;
- De grijper kan worden afgekoppeld van de last indien vereist.

De hoofdelementen van het **transportsysteem** zijn

- Sporen van de IPM naar de modules en de werkplaats/garage; met inbegrip van draaiplatformen op het niveau van de modules
- Trolleys (autonoom aangedreven); minimaal 2. De maximaal toelaatbare snelheid bedraagt 5 km/h. De trolleys omvatten o.a. een transportcontainer (zie verder).
- Een werkplaats/garage voor onderhoud
- Laadstation voor de batterij van de trolleys (in de IPM en in de werkplaats/garage)
- Een besturingseenheid geïnstalleerd in de controlekamer van de toegangscluster.

Het ontwerp van een **transportcontainer** moet voldoen aan de volgende vereisten (zie ook HS12, §12.6.2):

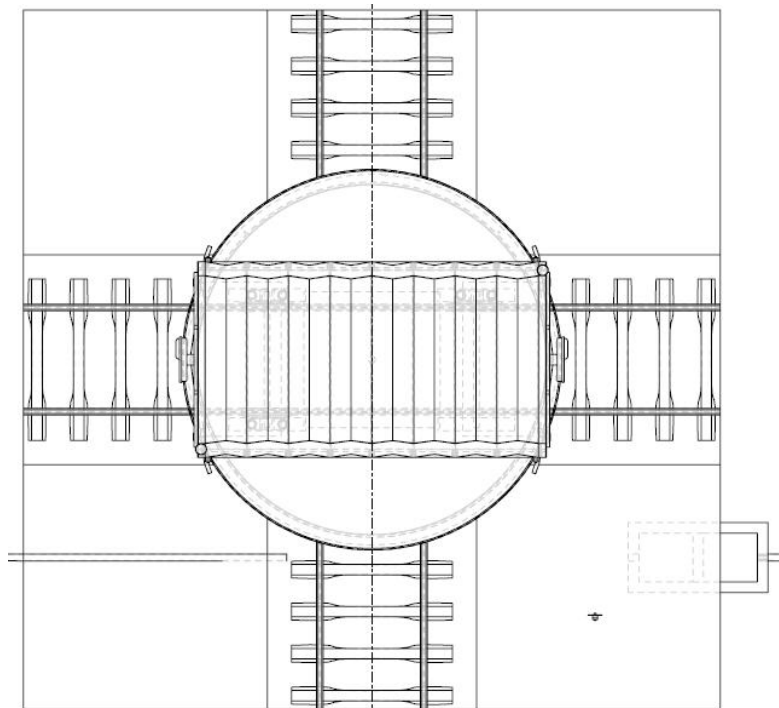
- Het stralingsniveau op het buitenoppervlak van de transportcontainer is lager dan 2 mSv/h en het stralingsniveau op 2 m afstand van elk punt van het buitenoppervlak is lager dan 100 µSv/h (zoals aanbevolen door de IAEA-richtlijn TS-R-1);
- De montage van de transportcontainer wordt zodanig uitgevoerd dat de afscherming, zonder uitzondering, voldoet voor het stralingsniveau van de geladen monoliet. Het principe van het overlappen van platen is van toepassing om de effectiviteit van de afscherming over de hele oppervlakte van de transportcontainer te waarborgen.

---

<sup>26</sup> Er wordt geen specifieke dieselgroep voorzien voor de *emergency box*.

De trolleys zijn ontworpen om de transportcontainer (en de monoliet) te beschermen tegen regen. Uiteraard is deze bescherming intrekbaar om de manutentie van monolieten in/uit de transportcontainer mogelijk te maken.

Omdat de berging van een groot aantal zware monolieten progressief de zetting van de omringende grond kan veroorzaken, zal het spoor voornamelijk worden gelegd op een laag funderingsmateriaal voor een eenvoudige correctie van het spoorniveau. Draaiplatforms (Figuur 8-31) bevinden zich aan de voorkant van elke toegang van de gangen tussen twee operationele modules. Ze zijn ingebed in de ophoging en bedekt met beweegbare platen, zodat de continuïteit voor de weg en de toegang mogelijk is.



**Figuur 8-31: Principe van het draaiplatform.**

Voor een veilige en betrouwbare werking moet de sturing van deze componenten worden gecoördineerd door het **centrale besturingssysteem**. De besturingssystemen van de componenten zijn geïntegreerd in de architectuur van het overkoepelende besturingssysteem. Deze bevat:

- De sporen voor de trolleys, de vereiste wisselmechanismen voor het spoor, draaiplatformen, elektrische positieschakelaars (op de draaiplatformen, op de sporen, op de eindstops...) en het volgsysteem voor de trolleys;
- De trolleys (met inbegrip van de accessoires) voor het transport van de monolieten, gecombineerd met het laadsysteem voor de batterijen en de vereiste gereedschappen in de onderhoudspositie(s) van de trolleys;
- De rolbrug(en) in de bergingszone, met inbegrip van de grijper van de hijsinrichting en de accessoires;



- Het geïnstalleerde meetsysteem om de differentiële zetting te meten van de betonnen structuur die de rolbaan van de rolbrug ondersteunt; de helling van deze rolbanen, die afwijkt van de ideale horizontale uitgelijnde positie, moet binnen vooraf bepaalde grenzen blijven;
- De interface met de IPM (Installatie voor de Productie van Monolieten, uitgebaat door Belgoprocess): laden van de monoliet op de trolleys vereist minstens controle en overdracht van de gegevens van de geladen monoliet. Verder is er wisselwerking tussen het aan- en wegrijden van de trolley in en uit de IPM en de toegangspoorten (zie ook HS09, §9.3.3);
- De interface met het planningssysteem voor het bergen van de monoliet: communicatie van de eigenschappen van de monoliet, doellocatie in de bergingsinrichting, bijwerken van de informatie betreffende de actuele positie en status van de monoliet, ...;
- Het camerasysteem;
- Het verlichtingssysteem;
- Het systeem voor de communicatie tussen de bergingsinrichting en de IPM controlekamer, tussen de controlekamer van de bergingsinrichting en kritieke punten langs het spoor, de onderhoudsposities van de trolleys, de rolbruggen, de bewakingspost,...;
- Bewaking van het waterniveau op de laagste punten van de bergingsinstallaties;
- Ventilatie, rook- en branddetectie;
- Monitoring (vnl. radiologisch);
- Menselijke aanwezigheid in de inspectiegalerij, toegangscontrole van personeel, een alarmsysteem in de gebouwen, binnendringen van de bergingszone...;
- De elektrische voedingsunits (hoog- en laagspanning, noodvoeding).

Om de hierboven beschreven functionaliteit te leveren, zal het centrale besturingssysteem de volgende componenten bevatten:

- Werkposten voor de operators die de mens-machine interface leveren;
- De SCADA serversystemen (Supervisory Control And Data Acquisition);
- De centrale PLC voor de koppeling met de uitrusting, zonder specifieke PLC inbegrepen in het pakket;
- Het netwerk voor het centrale besturingssysteem met de netwerkkoppelingen;
- De netwerkkoppelingen met externe systemen;
- Het proces camerabewakingssysteem;
- Het voedingssysteem voor het centrale besturingssysteem;
- Het noodstop circuit.

#### **8.5.9 Diverse systemen, structuren en componenten (SSC's) belangrijk voor de veiligheid**

Deze sectie behandelt enkele diverse SSC's:

- Instrumentatie en controle

- Elektrische voeding
- Brandbeveiligings- en bestrijdingssystemen
- HVAC
- Weerstation
- Infiltratiebekkens en afvoer van regenwater
- Bijgebouwen en infrastructuur

### 8.5.9.1 Specifieke ontwerpnormen en voorschriften

#### Elektrische voeding en instrumentatie

- AREI (Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties).

#### Brandbeveiliging

- KB van 7 juli 1994, gewijzigd door het KB van 19 december 1997 (appendices 1-5): basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen.
- Koninklijk besluit van 1 Maart 2009 dat het KB van 7 juli 1994 wijzigt (vervanging van appendix 1 en toevoeging van appendix 6).
- AREI (Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties);
- NFPA 801: Norm voor brandbeveiliging van installaties voor de behandeling van radioactieve stoffen
- NBN C30-004, IEC-332-2

### 8.5.9.2 Ontwerpvereisten

De ontwerpvereisten van toepassing op de diverse SSC's zijn gegeven in Tabel 8-25 (hernomen uit Bijlage 2).

Tabel 8-25: Ontwerpvereisten van toepassing op de diverse SSC's.

| SSC   | Ontwerpvereisten (DR) |      |    |    |    |
|---|-----------------------|------|----|----|----|
|   | 1.a                   | 13.b | 22 | 23 | 27 |
| 13. Instrumentatie en controle                      |                       |      | X  |    | X  |
| 14. Elektrische voeding                             |                       |      |    |    |    |
| 14.1 Hoog- en laagspanning                          |                       |      | X  |    |    |
| 14.2 Noodvoeding (en UPS)                           | X                     |      |    | X  |    |
| 15. Brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen |                       | X    |    |    |    |
| 16. HVAC (heating, ventilation, air-conditioning)   |                       |      |    |    |    |
| 17. Weerstation (orkaan, wind, sneeuw, temperatuur) |                       |      |    |    | X  |

#### DR1.a Over barrières beschikken om intrusie te voorkomen

*Van toepassing op: noodvoeding (en UPS)*

De aanwezigheid van noodvoeding (en UPS) zorgt ervoor dat de toegangscontrole te allen tijde functioneert, ook bij verlies van het elektriciteitsnet.

#### **DR13.b Een brandbeveiligings- en brandbestrijdingssysteem voorzien**

*Van toepassing op: brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen*

Er is een brandbeveiligings- en brandbestrijdingssysteem voorzien op de site. Dit omhelst verschillende aspecten [OD-165] (§4.6.3.4):

- Wegen en toegankelijkheid
- Compartimentering
- Branddetectie en alarmen
- Manuele brandbestrijdingsmiddelen
- Algemene brandbestrijdingsmiddelen (waterleiding, watertank en pompen)
- Automatische brandbestrijdingsmiddelen
- Evacuatiemaatregelen
- Ventilatie en rookevacuatie

Het systeem werd ontworpen conform NFPA 801. De inhoud van de bluswatertank bedraagt minimaal 200 m<sup>3</sup> (**Div01**) en moet in minder dan 8 uren gevuld kunnen worden. **Div01** wordt gecontroleerd op de uitvoeringsplannen.

Het KB van 7 juli 1994 over evacuatie is van toepassing op de gebouwen, behoudens elementen opgenomen in de afwijkingaanvraag ingediend bij de relevante instantie.

#### **DR22 Materialen gebruiken die de waarschijnlijkheid en de impact van brand tot een minimum beperken**

*Van toepassing op: instrumentatie en controle, hoog- en laagspanning*

De kabels van de instrumentatie en de elektrische voeding worden F2 (of equivalent) uitgevoerd volgens de norm NBN C30-004 (**Div02**). De buitenzijde van de optische vezels moet brandvertragend zijn, gemaakt van PE volgens IEC-332-2 (**Div03**). **Div02** en **Div03** worden geverifieerd op documenten van de leveranciers.

#### **DR23 Een noodstroomvoorzieningssysteem moet voorzien worden**

*Van toepassing op: noodvoeding (en UPS)*

Het ontwerp omvat een noodstroomvoorzieningssysteem. Dit bestaat uit 2 nooddiesels en UPS. Bovendien is een van de bluswaterpompen een dieselpomp om in geval van verlies van externe elektriciteit toch de goede werking van het bluswaternetwerk te garanderen.

#### **DR27 Instrumentatie voorzien die de informatie kan leveren die nodig is om de installatie op een betrouwbare en veilige manier uit te baten**

*Van toepassing op: instrumentatie en controle, weerstation (orkaan, wind, sneeuw, temperatuur)*

Er is instrumentatie voorzien die toelaat de installatie op een betrouwbare en veilige manier uit te baten, met name om te controleren of de installatie zich in een toestand bevindt zoals vereist door de technische specificaties (zie HS17). Het betreft o.a.:

- camera's die de bewegingen in beeld brengen (trolley, hijsen en plaatsen van monolieten/afschermingsplaten,...)
- sensoren die de status van poorten, draaitafels, trolleys, ... doorgeven
- instrumentatie die de positionering van de rolbrug bepaalt
- radiologische monitoring
- ...

De exhaustieve lijst van de nodige instrumentatie hangt af aan de technische specificaties zelf en zal dus beschikbaar zijn na de ontwikkeling van de technische specificaties in HS17.

### 8.5.9.3 Ontwerpberekeningen

#### Infiltratiebekkens en afvoer van regenwater

Het hydraulisch ontwerp van het **infiltratiebekken** bestaat erin het afvoervolume te bepalen dat moet opgeslagen worden, op basis van de verschillende invoeren, de beschikbare oppervlakte en de infiltratiecapaciteit van de bodem. Dit bestaat in het oplossen van de volgende vergelijking:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{inf}$$

met: V: opslagvolume van het bekken

t: de tijd

$Q_{in}$ : debiet inlaat

$Q_{inf}$ : debiet infiltratie

met de volgende relaties:

$$V = f(h) \text{ en } Q_{inf} = g(h)$$

De eerste definieert de relatie tussen het opslagvolume en de diepte (h) (volgens de topografie en de vorm van het bekken). De tweede geeft de geïnfiltreerde stroom ( $Q_{inf}$ ) versus de stijghoogte (h).

De maximale  $Q_{in}$  doet zich voor wanneer de afdekking geplaatst is. De gedraineerde oppervlakte is dan immers maximaal. Het infiltratiedebiet kan worden geschat door een van de twee volgende relaties op basis van het niveau van de grondwaterspiegel (Figuur 8-32):

- $Q = S K (\Delta h + L)/L$  (Wet van Darcy)
- $Q = 2,5 K H \sqrt{S}$  (relatie van Schneebeli)

met S: de infiltratieoppervlakte (m<sup>2</sup>)

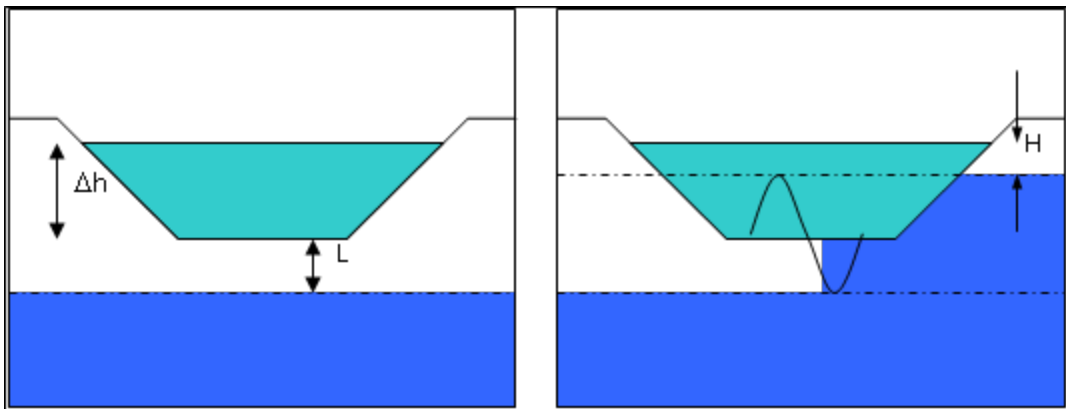
K: de hydraulische geleidbaarheid (m/s)

$\Delta h$ : de waterdiepte (m)

H: het waterniveau in het bekken boven de grondwaterspiegel (m)

L: het niveauverschil tussen de grondwaterspiegel en de bodem van het bekken

$(\Delta h + L)/L$ : de hydraulische gradiënt



**Figuur 8-32: Configuraties voor de evaluatie van de infiltratiesnelheid: grondwaterspiegel lager dan de bodem van het bekken (links, wet van Darcy) en hoger dan de bodem van het bekken (rechts, relatie van Schneebeli).**

De relatie van Schneebeli is meer conservatief en komt overeen met de winterperiode waarbij de grondwaterspiegel de bodem van het bekken kan bereiken.

De parameters voor de berekening zijn gebaseerd op bodemonderzoeken die uitgevoerd zijn op de site. De volgende cijfers worden gebruikt:

- K:  $3,3 \cdot 10^{-4}$  m/s (pomptest op de site in fijn tot grof zand, [OD-086], §5.4)
- H: 24,43 m (gemiddelde jaarlijkse maximale grondwatervl. niveau, [OD-165], §4.4.2.5)

De berekeningen worden uitgevoerd om de oppervlakte/volume van het bekken voor de eerste tumulus te bepalen. Vergelijkbare maar lagere waarden worden verwacht voor de tweede tumulus vanwege zijn kleinere oppervlakte. Er is één bekken per tumulus/operationele zone (+ een klein bekken in het noorden van de site tussen de twee tumuli). Van de twee configuraties (stalen dak over het totaal van 20 modules en afdekking geplaatst) is de laatste dimensionerend. In de configuratie met de afdekking is er immers een groter gedraineerd gebied en in deze configuratie wordt er bovendien rekening gehouden met de effecten van klimaatverandering.

In de praktijk werd het infiltratiebekken ontworpen op basis van landschapsarchitecturale aspecten. Het resulterende infiltratiebekken van de eerste tumulus heeft volgende kenmerken (§4.4.2.5 van [OD-165]):

- Een totale oppervlakte van ongeveer 8470 m<sup>2</sup> (niveau 25,3 mTAW);
- Gemiddelde diepte tot het wateroppervlak van 1,1 m (25,4 - 24,3 mTAW) waarbij 24,3 mTAW het gemiddeld niveau van het grondwater is;
- het niveau van het omringende maaiveld op 25,40 mTAW;
- overloop op niveau 25,30 mTAW.

Gegeven het ontwerp van het infiltratiebekken, werden de waterstanden bepaald voor de gedefinieerde belastingsgevallen. De details staan samengevat in Tabel 8-26. Zoals blijkt, is een overloop niet strikt noodzakelijk om een terugkeerperiode van 100 jaar aan te kunnen. Deze wordt toch voorzien vanuit het voorzorgsprincipe voor nog grotere regenbuien. **OPMERKING:** praktische uitvoeringsaspecten kunnen eventueel leiden tot het (licht) bijsturen van de finale vorm van het bekken.

Tabel 8-26: Details van de stormsimulaties.

| Terugkeerperiode<br>(jaar) | Globale opwarming | Gemiddeld max.<br>waterniveau<br>[mTAW] | Lozing via overloop |
|----------------------------|-------------------|---|---------------------|
| 10                         | Nee               | 24,70                                   | nvt                 |
| 10                         | Ja                | 24,72                                   | nvt                 |
| 100                        | Ja                | 24,84                                   | nvt                 |

De **riolering voor afvoer van regenwater** wordt gedimensioneerd met behulp van de '*Rational formula*'. Dit laat toe de piekafvoeren van kleine zones te evalueren. De resulterende waterstroom wordt gegeven door:

$$Q = i \Sigma CA$$

Met Q: het ontwerpdebiet (m<sup>3</sup>/s);

A: het onderliggende stroomgebied (ha)

C: de gemiddelde onderliggende afstromingscoëfficiënt;

i: de regenval intensiteit voor een gegeven terugkeerperiode (mm/hr omgezet naar m<sup>3</sup>/s/ha).

#### 8.5.9.4 Beschrijving van het ontwerp

##### Instrumentatie en controle

Zie HS16.

##### Elektrische voeding

Zie [OD-165], §4.5.

Het elektrische netwerk op de site van de bergingsinrichting vormt een systeem voor stroomtoevoer naar alle componenten tijdens alle fasen van de uitbating, sluiting en nucleaire reglementaire controlefase. Daarnaast bevat het aardingssysteem. Een van de bijzonderheden van het elektrische netwerk is dat het moet worden aangepast aan de veranderende inrichting van de installaties gedurende de verschillende fasen van het project. Deze methodologie vereist dat de elektrische systemen van de installatie flexibel zijn.

Drie types van stroomvoorziening zullen beschikbaar zijn op de site:

- Normale stroomvoorziening: afkomstig van de 15,6 kV / 420 V transformatoren die zich bevinden in het technisch gebouw van de toegangscluster en de werkplaats/garage.
- Noodstroomvoorziening: voor de apparatuur waarvoor een korte tijd (een paar seconden) onderbreking van de stroomvoorziening mogelijk is. In het geval van falen van de normale stroomvoorziening zal de stroomvoorziening voor prioritaire apparatuur worden verzekerd door een dieselgroep. De dieselgroepen zullen in het technisch gebouw van de toegangscluster en de werkplaats/garage worden geplaatst op een niveau boven het overstromingsniveau (25,2 mTAW).

Apparatuur aangesloten op de noodstroomvoorziening wordt opgelijst in annex 7 aan [OD-165] en omvat minstens:

- ▶ De verlichting van de:
  - operationele zone (modules die gevuld worden);
  - galerij;
  - controlekamer;
  - receptie van het administratieve gebouw;
  - noodplankamer;
- ▶ De niet-essentiële radiologische monitoring;
- ▶ De pompen van het bluswaternetwerk
- ▶ De gemotoriseerde toegangspoorten die niet automatisch openen bij falen van de normale stroomvoorziening.
- Ononderbroken noodstroomvoorziening: voor apparatuur waarvoor het niet is toegelaten om gedurende een korte tijd (enkele seconden) een onderbreking van de stroomvoorziening te hebben. Apparatuur die verbonden is met de ononderbroken stroomvoorziening (UPS<sup>27</sup>):
  - ▶ Computer en PLC in de controlekamer;
  - ▶ Specifieke essentiële componenten voor beveiliging
  - ▶ De essentiële radiologische monitoring;
  - ▶ Groepering van de belangrijkste alarmen voor het doorsturen naar externe stations.

De gebouwen op de site zullen worden beschermd tegen blikseminslag. Het doel van het bliksembeveiligingssysteem is om de inslag van de bliksem op te vangen, deze af te leiden van het inslagpunt naar de grond en te verspreiden zonder schade te veroorzaken.

#### **Brandbeveiligings- en bestrijdingssystemen**

Zie [OD-165], §4.6.3.

Overeenkomstig artikel 17 van het KB van 30.11.2011 [R8-37], wordt het risico op brand zoveel mogelijk beperkt. De bergingsinstallaties zelf (modules, monolieten, afdekking en ophoging) zijn door hun aard niet brandbaar. Voor de uitrustingen en andere (tijdelijke) structuren wordt dit artikel eveneens gerespecteerd:

- Alle kabels zijn vrij van halogenen, brandvertragend en conform aan de norm EN 60332-3-22 cat A.
- Alle gebouwen zijn beschermd tegen blikseminslag (indien nodig).
- Het vast stalen dak is gemaakt van niet-brandbaar materiaal klasse A1 of klasse BROOF (T1).
- Alle elektrische kasten in de bergingsinstallaties zijn uitgerust met rookdetectoren.
- Brandalarmen worden naar de controlekamer geleid; buiten de werkuren worden de alarmsignalen omgeleid naar de bewakingspost van Belgoproces.

---

<sup>27</sup> Voor sommige van deze systemen zal gewerkt worden met een lokale UPS of batterij.

- Noodverlichting en vluchtroutes worden aangebracht conform de regelgeving.

Wegen en toegangen moeten voldoen aan volgende vereisten om brandweerwagens toegang te verschaffen:

- Minimale breedte: 4 m;
- Minimale straal: 11 m (binnenzijde) en 15 m (buitenzijde);
- Minimale vrije hoogte: 4 m;
- Maximale helling: 6 %;
- Aslast: 13 ton (voor elke as)

Een bluswatercircuit is geïnstalleerd om de vereiste hoeveelheid water te leveren bij de gewenste druk. Het circuit is geïnstalleerd in een lus rond de set modules in elk van de opeenvolgende fasen van de bergingsinrichting. Het circuit ligt ondergronds (~1,4 m), met uitzondering van lokale zones en de tijdelijke connectie tussen modules 7/8 en 9/10 in de uitbatings situatie zoals getoond in Figuur 8-3. Twee soorten pompen zijn geïnstalleerd: één om het circuit op druk te houden, de andere om de vereiste hoeveelheid water te leveren in geval van brand. Adequate detectiesystemen zijn geïnstalleerd.

De druk in de ondergrondse leiding moet 8 bar bedragen. De capaciteit van de watertank is minstens 200 m<sup>3</sup> en deze tank moet op een tijdspanne van 8 uur gevuld kunnen worden. De water-toevoerleiding zal hierop voorzien worden.

De hydranten zijn van het type BH100 en worden geplaatst met een tussenafstand van ongeveer 50 m.

Het ontwerp van de inrichting en de voorziene brandbeveiligingssystemen en –organisatie zal worden voorgelegd aan de lokale brandweer. Een analyse van het brandrisico wordt uitgevoerd.

## HVAC

In de inspectiegalerij is een conventioneel ventilatiesysteem voorzien.

## Weerstation

Zie HS16, §16.5.7.1.

## Infiltratiebekkens en afvoer van regenwater

In het noordelijke deel van de site (ten noorden van de modules/afdekking) zal het regenwater verzameld worden in **infiltratiegrachten** die zich langs en tussen de toegangswegen bevinden. Ze bestaan uit ondiepe driehoekige sloten met een zeer kleine of geen helling.

De toegangswegen worden uitgerust met **goten, inlaten en hoofdcollectors**. De hoofdcollector wordt gedimensioneerd om het hemelwater dat op het dak van de modules en op de verschillende platformzones (toegangswegen, spoorlijn en aanpalende zones) neervalt, te collecteren en af te voeren.

In de zuidelijke zone worden **sloten** voorzien op het natuurlijk grondniveau onderaan het platform van de ophoging. Hun belangrijkste functie is om al het water te verzamelen en af te leiden naar de infiltratiebekkens. Het realiseren van betonnen sloten met een minimum helling wordt overwogen.

Nadat de afdekking is geplaatst, worden betonnen sloten gebouwd die al het stormwater dat van de afdekking stroomt, zullen collecteren.

De grootste **infiltratiebekkens** zelf bevinden zich in het zuidelijke deel, naast de ontsluitingsweg, waaronder afvoerleidingen geplaatst zijn in geval van *beyond design* regenval. Deze voert het overtollige



water af naar het terrein ten zuiden van de bergingssite dat lager gelegen is dan de bergingssite zodat het daar zal infiltreren ofwel via de verderop gelegen Hooibeek afgevoerd wordt. Zoals voor de wegen en sporen geldt, zal de inrichting van het infiltratiesysteem evolueren gedurende de verschillende fasen van het project.

Voor de **afvoer van regenwater** is het dak voorzien van regenafvoeren en van spuwverspreiders die vermijden dat water zich ophoopt en een (te) zware belasting zou vormen. De hoogte van de spuwverspreiders wordt zo vastgelegd dat het waterniveau nooit hoger wordt dan het toelaatbare niveau. In het geval van de berging kunnen deze op 5 cm geplaatst worden zodat de belasting  $< 0,5 \text{ kN/m}^2$  blijft, wat lager is dan de ontwerpwaarde voor sneeuw- en personenlasten ( $0,7 \text{ kN/m}^2$ ). De spuwverspreiders treden in werking als het waterniveau op het dak te hoog dreigt te worden. Dit kan zijn in geval van een regenbui die heviger is dan de ontwerpomstandigheden of indien er enkele afvoerbuizen verstopt zouden zijn. Het water dat geëvacueerd wordt via de spuwverspreiders valt onderaan tussen de bekleding van de dakstructuur en de sporen en wordt uiteindelijk afgevoerd via de drainage die voorzien is onder de sporen.

### **Bijgebouwen en infrastructuur**

Bijgebouwen zijn noodzakelijk vanaf de start van de exploitatie voor een volledige inzetbaarheid van de bergingsinrichting.

De toegangscluster bestaat uit drie gebouwen:

- Administratief gebouw (zie plannen AE\_A\_L+00-02/16 en AE\_A\_L+01-03/16), permanente structuur die gebruikt wordt tijdens de fasen I, II en III, waarvan de functies zijn:
  - ▶ Administratief gebouw voor personeel dat werkt aan de bouw, de uitbating of de beveiliging van de bergingsinrichting;
  - ▶ Huisvesting van de controlekamer;
  - ▶ Ontvangst en toegangscontrole van bezoekers en leveranciers;
  - ▶ Het screenen van mensen met toegang tot de gecontroleerde zone van de bergingsinrichting;
  - ▶ Langetermijn archief voor informatie over de bergingsinrichting (er zal eveneens een spiegelarchief opgezet worden op een andere locatie).
- Technisch gebouw (ook 'stockage gebouw' genoemd)
  - ▶ Het technisch gebouw huisvest het elektrische hoofdvoedingsstation en de noodstroomvoorziening. Er is plaats voor een multifunctioneel voertuig dat zowel kan rijden op wegen als sporen (verwijderen van sneeuw, uitvoeren van een noodinterventie als bijkomend middel voor het trekken van een trolley, zwaar voertuig voor materiaaltransport, ...). Verder is er in dit gebouw stockage van diverse materialen en hulpmiddelen:
  - ▶ Opslag van veiligheidsreling: wanneer een serie van vier gevulde modules wordt gesloten, wordt er een veiligheidsbarrière of veiligheidsreling geplaatst bovenop alle wanden.
  - ▶ Opslag van noodbeplating of equivalent voor het geval een hevige wind een deel van de beplating van de staalstructuur wegblaast.

- ▶ Wisselstukken voor de inspectierobots, de WCBs, gereedschap voor licht herstelwerk aan de stalen structuur, onderhoudsgereedschap voor het spoor, schoonmaken van de goten, verf, lampen, bewakingsapparatuur....
- Een kleiner technisch gebouw dat de warmtepomp huisvest en dienst doet als fietsenstalling.

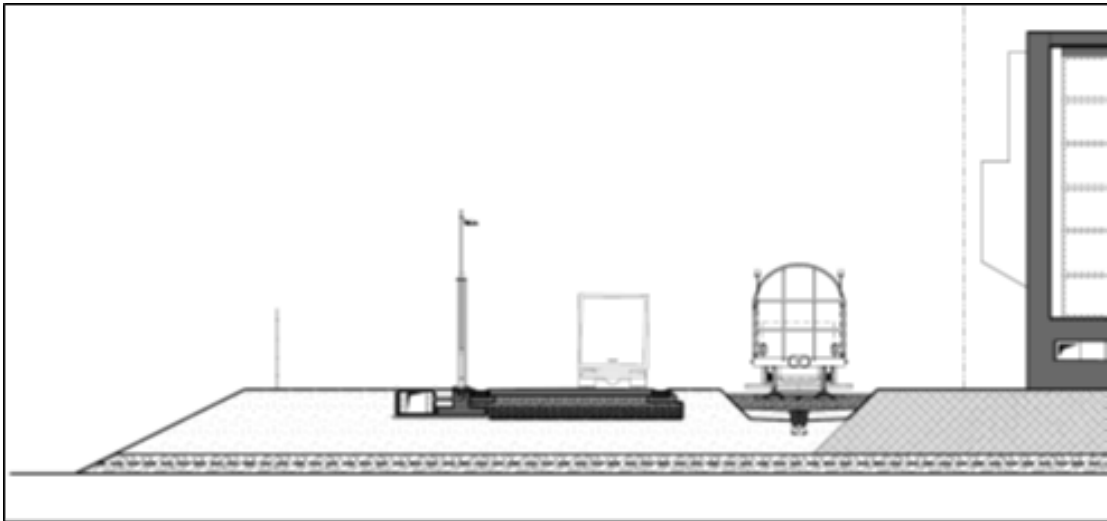
Een ander bijgebouw op de bergingsinrichting betreft een werkplaats/garage, in het oosten van de site gelegen, dicht bij de IPM. Een voorlopige lijst van activiteiten die hier zullen plaatsvinden wordt hieronder gegeven:

- Garage voor de trolleys: er zijn twee identieke trolleys beschikbaar op de site en er wordt slechts één gebruikt. Periodiek (bv. elke week) wordt een trolley terug naar de werkplaats gereden en wordt deze vervangen door de andere.
- Onderhoud/inspectie van de trolleys: onderhoud en de inspectie zal plaatsvinden tijdens de stand-by.
- Laadstation voor batterijen: het is voorzien dat de batterij van de trolley voor elk transport wordt opgeladen (met name 5 maal per dag) in de IPM. Een tweede laadstation voor de batterijen is voorzien in de werkplaats.
- Elektrisch voedingsstation: Voedingsstation B bevindt zich in de werkplaats. Een middenspanningskabel (15 kV) zal op de site tussen dit station B en het hoofdvoedingsstation van het technisch gebouw gelegd worden.
- Bluswatersysteem (pompen, leidingen, watertank)
- Nooddiesel (o.a. voor de bluswaterpompen)

De wegen en de spoorlijnen (zie [OD-165], §4.3) moeten aangepast worden aan de veranderende inrichting van de installaties gedurende de verschillende fasen van het project. Het wegen- en spoornetwerk zal progressief uitgebreid worden tijdens de bouw van de modules. Aanvullend aan hun wisselende locatie zal ook de radiologische zonerings van beide transportsystemen wijzigen gedurende de uitbatingfasen. Meer informatie over de radiologische zonerings wordt gegeven in HS12, §12.6.4.

Wegen en sporen die achterhaald zijn gedurende de evolutie van de bergingsinrichting, met name deze die zich ter hoogte van de aarden afdekking bevinden, zullen worden verwijderd.

Een typische dwarsdoorsnede van de wegen en sporen wordt weergegeven in Figuur 8-33. In dit voorbeeld worden zowel de wegen en de sporen op hetzelfde niveau van de bergingsmodules gebouwd, met name 28 mTAW. Voor energie-efficiëntie worden alle sporen ingepland op hetzelfde niveau van de modules, met name 28 mTAW, behalve wanneer de tweede tumulus in uitbating is. In dat geval moet het spoor plaatselijk over de inspectiegalerij gaan waar een dikke betonnen plaat moet worden voorzien om de structurele integriteit te beschermen. Het niveau van het spoor wordt regelmatig onderhouden om de zettingen te compenseren.



Figuur 8-33: Typische doorsnede voor wegen en sporen (principe).

## 8.5.10 Nucleaire uitrustingen en infrastructuur

### 8.5.10.1 Beschrijving

Uitrustingen en infrastructuur die tijdens de operationele periode zullen gebruikt worden om de installatie te kunnen uitbaten, sluiten, controleren, ... worden beschreven in voorgaande paragrafen. Het betreft elementen zoals de rolbrug (zie §8.5.8), elektrische voeding (zie §8.5.9), ...

Als nucleaire uitrustingen en bijgebouwen worden in deze paragraaf aanzien: die uitrustingen en bijgebouwen die – hoewel niet verwacht bij normale uitbating – potentieel besmet kunnen worden en die (in dat geval) een ontsmetting/ontmanteling moeten ondergaan aan het einde van hun levensduur.

De volgende nucleaire uitrustingen en bijgebouwen zijn aanwezig op de bergingsinrichting:

- Het drainagesysteem zoals beschreven in §8.5.5, samengesteld uit:
  - ▶ Recipiënten in de inspectiegalerij
  - ▶ Verschillende leidingen
  - ▶ Opslagtanks in het WCB
  - ▶ De constructies waarin het drainagesysteem is gelegen: de inspectiegalerij en het WCB.
- De gecontroleerde zone in het administratieve gebouw (zie plan AE\_A\_L+00-02/16): controle op besmetting in geval van een incident, uitrusting om te ontsmetten (decontaminatiedouche), ... Het water van de decontaminatiedouche wordt opgevangen in een opvangtank die in een betonnen kuip staat. De leidingen en de opvangtank zijn uitgevoerd in roestvast staal. De betonnen kuip wordt vloeistofdicht uitgevoerd zodat water afkomstig van eventuele lekken erin tegengehouden wordt. In de betonnen kuip en de opvangtank zijn er alarmen voor de aanwezigheid van water.

#### 8.5.10.2 Ontmanteling

De nucleaire infrastructuur en de bijgebouwen opgelijst in de vorige paragraaf blijven operationeel tot de sluitingsfase.

Alle elementen die verband houden met het **drainagesysteem** - met uitzondering van het ABS in de ondersteunende plaat - worden ontmanteld gedurende de sluitingsfase (fase II, zie §10.3.4). Afhankelijk van de operationele geschiedenis (besmettingsniveau van het verzamelde drainagewater) zullen passende ontmantelingstechnieken worden toegepast. Elke vorm van radioactief afval en secundaire effluenten die uit deze uitbating voortvloeien, zullen worden getransporteerd naar een geschikte afvalverwerkingsinstallatie.

Wanneer de sluitingsfase is voltooid, zal de gecontroleerde zone in het kantoorgebouw worden ontmanteld of de status kan worden gewijzigd in een niet-nucleaire zone. Er wordt verwacht dat er geen ontsmetting vereist is in deze zone.

## 8.6 Constructie van de berging

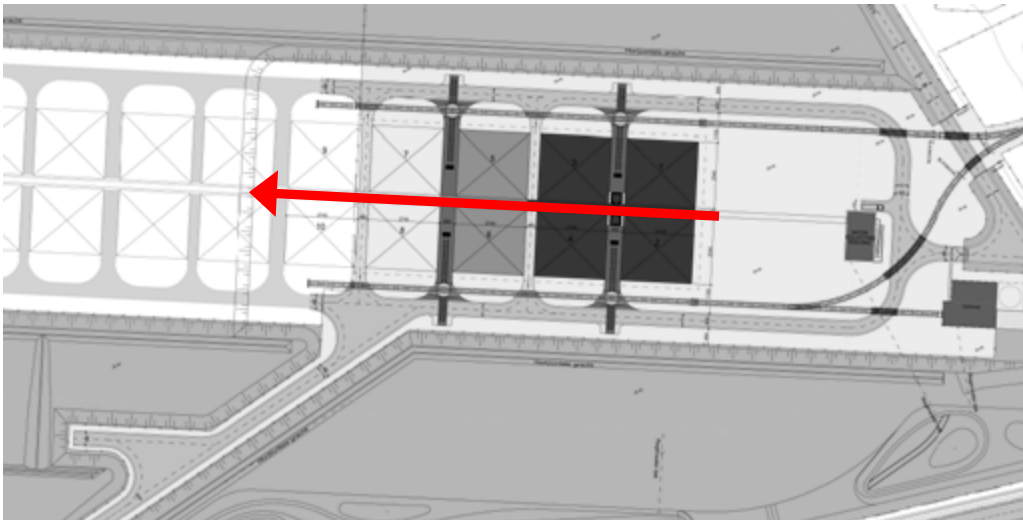
In een eerste opdracht worden de eerste 20 modules gebouwd. De bergingsmodules worden sequentieel gebouwd van het oosten naar het westen, als een lineaire werf (Figuur 8-34). Op deze wijze kunnen de eerste 8 modules in dienst gesteld worden terwijl de laatste modules afgewerkt worden. De aannemer zal doorgaan met de bouw van de eerste 20 modules. Parallel kan het operationeel vullen van de modules 1 tot 4 starten wanneer aan de volgende voorwaarden is voldaan:

- Voldoende afstand van elke niet-nucleaire aannemer/personeel/publiek zodat de dosisdebiëtbepalingen worden gerespecteerd (een afstand van minimaal 65 m is vereist, zie HS12, §12.5.5).
- Volledig elektrisch netwerk met UPS, onafhankelijk van de stroomvoorziening van de werfzone.
- Een voltooide spoorlijn naar de IPM.
- Een operationeel infiltratiebekken.
- Een operationeel drainagesysteem; de galerij is nog niet voltooid, maar de helling gaat richting WCB. Intrusie zal vermeden worden door het plaatsen van een tijdelijke poort aan het westelijke einde.
- Een operationele werkplaats, administratief gebouw, toegangscontrole, controlekamer en besturingssysteem, WCB.
- Volledig functionele bewakings- en monitoringstoestellen verbonden met de toegangscluster.
- Alle operationele modules zijn uitgerust met een stalen dakstructuur en beplating. Om te voldoen aan de berekeningshypothese voor wat de dakbelasting betreft, wordt er tijdelijk een zijpaneel met geïsoleerde bekleding geplaatst aan de westzijde tussen modules 7/8 en modules 9/10.
- Toegangswegen ontworpen voor tussenkomst van brandbestrijding en voor noodsituaties van welke aard ook.
- Hekwerk tussen de reeds operationele en niet-operationele modules met strikt gescheiden toegangen voor beide zones.

De werfinrichtingszone is voorzien in het westen van de site zodat deze kan blijven ook nadat het eerste deel van de inrichting in dienst gesteld is.

Na de algemene terreinvoorbereiding wordt de volgende sequentie toegepast:

- Aanbrengen van de grondverbetering (zand-bentoniet) in de zone van de funderingen.
- Installatie van de drainagelaag (inclusief geosynthetische materialen).
- Installatie van de zand-cement ophoging.
- De betonnen modules worden progressief gebouwd, gebruik makend van meerdere sets bekisting.
- In parallel met de modules wordt het overeenkomstige stuk van de inspectiegalerij gebouwd.
- Het vast stalen dak (en zijn bekleding en isolatie) wordt zo snel mogelijk na het afwerken van een module geplaatst.



Figuur 8-34: Constructierichting.

## 8.6.1 Modules

### 8.6.1.1 Specifieke constructienormen en voorschriften

De van toepassing zijnde constructienormen en wettelijke voorschriften zijn opgenomen in de aanbestedingsprocedures. De constructiecodes voor de modules bevatten o.a. de volgende:

- Beton: Eurocode - algemeen
- Beton: de Belgische nationale bijlagen en andere wettelijke voorschriften
- Bekisting: Eurocode - algemeen
- Bekisting: de Belgische nationale bijlagen en andere wettelijke voorschriften
- Prefab beton: Eurocode - algemeen
- Prefab beton: de Belgische nationale bijlagen en andere wettelijke voorschriften
- Wapening: Eurocode - algemeen
- Wapening: de Belgische nationale bijlagen en andere wettelijke voorschriften
- Granulaten: EN 12620 Aggregaten voor beton, 2002

De plannen (zie §8.1) vermelden de relevante norm voor de toegelaten toleranties op de afmetingen. In de technische bestekken wordt dit verder gespecificeerd. De toleranties op de maten moeten conform zijn aan NBN EN 13670:2010, aangevuld met de nationale bijlage NBN B15-400:2012. Daarbij zijn de eisen voor tolerantieklasse 2 en uitvoeringsklasse 3 van toepassing. Bovendien wordt – volgens dezelfde normen - voor alle punten aan de binnenzijde van de modulewanden het ‘principe van de doos’ toegepast en dit met een waarde van 20 mm. Dit wil zeggen dat alle punten aan de binnenzijde van de modulewanden binnen de gespecificeerde theoretische positie zitten met een marge in alle richtingen van 20 mm.

OPMERKING: de wapening is in overeenstemming met de minimaal vereiste wapening zoals beschreven in §8.5.1.3.

### 8.6.1.2 Beschrijving

#### Modules

De keuze voor de constructiesequentie werd initieel genomen op theoretische basis, zoals uiteengezet in [OD-260]. De voordelen van deze sequentie t.o.v. een meer klassieke sequentie waarbij bv. de wanden in meerdere moten gestort worden, zijn uiteengezet in §6 van [OD-260]. Met deze sequentie is de hoeveelheid wapening om de theoretische krimp-scheurwijdte te beperken lager (wat positief is voor de doenbaarheid van de constructie en voor de duurzaamheid op lange termijn) en verticale hernemingsvoegen in de modulewanden worden vermeden. Deze sequentie werd met succes in de "demonstratieproef" toegepast; zie annex 9 aan [OD-166] voor een bespreking van de doenbaarheid van deze techniek, op basis van de ervaringen opgedaan in de demonstratieproef.

De sequentie voor de bouw van een module is als volgt:

- Gieten van kleine betonnen platen onder de volledige toekomstige modulewanden. Deze platen zullen o.a. dienen om de bekisting te verankeren (zie verder).
- Plaatsen van lokale glij-elementen om de wrijvingscoëfficiënt te verminderen. Deze bestaan uit afgeschuinde stalen platen.
- De wapening voor de wanden (inclusief de sokkels) wordt geplaatst samen met de koppelingen voor de platen (funderingsplaat, ondersteunende plaat en structurele topplaat) om een ononderbroken wapening te bekomen. Er zal afdoende controle van de dekking zijn. Er worden geschikte hulpstukken gebruikt om de wapening in een correcte positie te houden.
- Opstelling van de bekisting (Figuur 8-35) voor het storten van de vier wanden (inclusief de sokkels) in één continue storting. De bekisting is opgetrokken over de volledige binnen- en buitenzijde van de muuromtrek en –hoogte. De bekisting wordt verankerd op de betonnen vloerplaat en aan de bovenzijde. Er worden verder enkel semi-doorgaande bekistingstrekkers gebruikt. De bekisting kan bijkomend afgeschoord worden met behulp van tijdelijke constructies. De bekisting moet voldoende stijf zijn om vervorming als gevolg van de druk van vloeibaar beton te beperken. De bekisting wordt voorzien van een CPF-liner (enkel voor de buitenzijde van de wanden).
- Beton wordt aangeleverd door een daartoe bestemde betoncentrale ingeplant op de site. Door een centrale op de site in te planten wordt de tijd tussen aanmaak en verwerking van het beton tot een minimum beperkt. Bovendien is men minder afhankelijk van externe factoren zoals files. De kans op vergissingen (bv. gebruik van een ander type granulaten) alsook vervuilingen wordt eveneens beperkt. De wanden worden continu gestort (ongeveer 900 m<sup>3</sup> voor een module) en met behulp van een geschikte verdichtingsmethode (zoals bijvoorbeeld pneumatische bekistingstrillers) getrild van onder naar boven. Er wordt gebruik gemaakt van stortbuizen (zie Figuur 8-35), hun doel is de valhoogte van het beton te beperken. Momenteel worden 5 buizen per wand voorzien en deze blijven achter in de wand (zie plan 121\_MGW\_GCFE\_100). Op basis van de uitgevoerde testen zijn 3 à 4 buizen per wand voldoende; dit aspect kan nog verder geoptimaliseerd worden. Verdere testen (maken van testpanelen) worden immers opgelegd aan de aannemer om de opgedane kennis tijdens de demonstratieproef te bevestigen en vervolledigen. Deze testen houden minstens een testpaneel met sokkel in en het testen van het aanbrengen van een herstelmortel voor het opvullen van de holtes achtergelaten door de conussen van de semi-doorgaande bekistingstrekkers.

- Zodra technisch mogelijk wordt de binnenbekisting losgemaakt om ongehinderd vrije krimp en schuiven aan de onderzijde mogelijk te maken. De binnenbekisting wordt hierbij wel op zijn plaats gehouden om de uithardingsvoorwaarden niet in gevaar te brengen. De uitharding gebeurt bij aanwezigheid van de bekisting en plastic zeilen en/of *curing compound* bovenaan. De methode van de gewogen rijpheid (= maturometrie) zal worden toegepast.
- Verwijdering van de bekisting na ten vroegste 7 dagen (enkel wanneer de beoogde rijpheid bereikt werd, zie §8.5.1.2 DR9.d).
- Ter hoogte van de aansluiting met de platen worden de muren opgeruwd teneinde een goed contact tussen de twee stortfasen te bevorderen. De wapening van de muren en de platen wordt onderling verbonden door middel van koppelstukken. Ze zullen bijgevolg zorgen voor een beperking van de scheuren zoals op de andere plaats van de modulewanden (maximale theoretische scheurwijdte van 0,3 mm).
- Na het plaatsen van de wapening wordt de funderingsplaat gestort. Uitharding van de plaat gebeurt onder een tijdelijke plastic/waterfilm (minstens tot de vereiste rijpheid bereikt wordt, zie hoger). De voegen tussen de plaat en de wanden zijn voorzien van een waterstop. Figuur 8-36 toont het principeschema van de stalen voeg (zelfde principe voor de twee platen onderaan de module). Een dunne stalen strip (~1 à 2 mm, koolstofstaal) wordt deels in de wand ingestort. Deze wordt mee geplaatst tijdens het opbouwen van de wapening van de wanden. Na het ontkisten van de wanden wordt deze uitgeplooid en correct gepositioneerd samen met de wapening van de desbetreffende vloerplaat zodat het uitgeplooid deel in de vloerplaat ingestort wordt. In de uitgeplooid configuratie heeft de strip een V-vorm waardoor er tijdens het storten geen luchtophoping is onder de strip.
- In een volgende stap worden de kolommen gestort. Hiervoor wordt individuele bekisting gebruikt die dient blijven te staan minstens totdat de vereiste rijpheid bereikt wordt, zie hoger.
- Vervolgens worden geprefabriceerde platen geplaatst bovenop de kolommen die als bekisting fungeren voor de ondersteunende plaat. Ze zijn gemaakt van hetzelfde beton als de modules. De voegen tussen de geprefabriceerde platen worden afgedicht om het lekken van beton te voorkomen tijdens het storten van de ondersteunende plaat zelf. Onder het niveau van de geprefabriceerde platen neemt de wanddikte van de modulewanden toe om ondersteuning te bieden aan de platen.
- Bij het storten van de ondersteunende plaat is er, zoals bij de funderingsplaat, een waterstop voorzien (Figuur 8-36). Uitharding gebeurt onder een tijdelijke plastic/waterfilm (minstens tot de vereiste rijpheid bereikt wordt, zie hoger).
- De lengte van de inspectiegalerij bedraagt ~450 m en ze wordt uitgevoerd zonder zettingsvoegen. De maximale lengte van een constructiemoot bedraagt 30 m ([OD-166], §14.1.2).

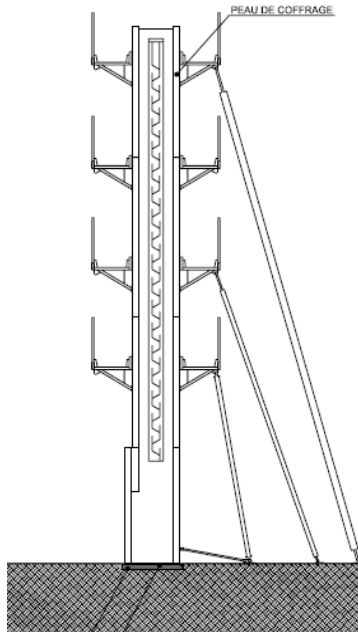
Het storten van elk van deze componenten (wanden, twee platen en kolommen) moet continu uitgevoerd worden om leeftijdsverschil van het beton en differentiële krimp te beperken.

Het storten van beton van SSC's die een veiligheidsfunctie vervullen is enkel toegestaan wanneer men weertype 0 of I heeft gedurende de eerste 72 uren na de stort. Zie [R8-43] voor de definities van deze weertypes. Tabel 2 van [R8-43] geeft de van toepassing zijnde beschermingsmaatregelen voor weertype I.

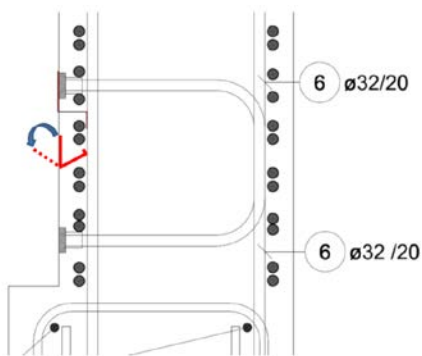
De temperatuur van de betonspecie moet liggen tussen 5 °C en 25 °C in geval van weertype 0 en tussen 10 °C en 25 °C in geval van weertype I. Op basis van ervaring op de werf (vergelijking tussen



gemodelleerde en geobserveerde temperaturen) kan de praktische eis op de maximaal toelaatbare temperatuur van de betonspecie op het moment van storten bijgesteld worden. Zie ook §8.5.1.2 (DR9.a).

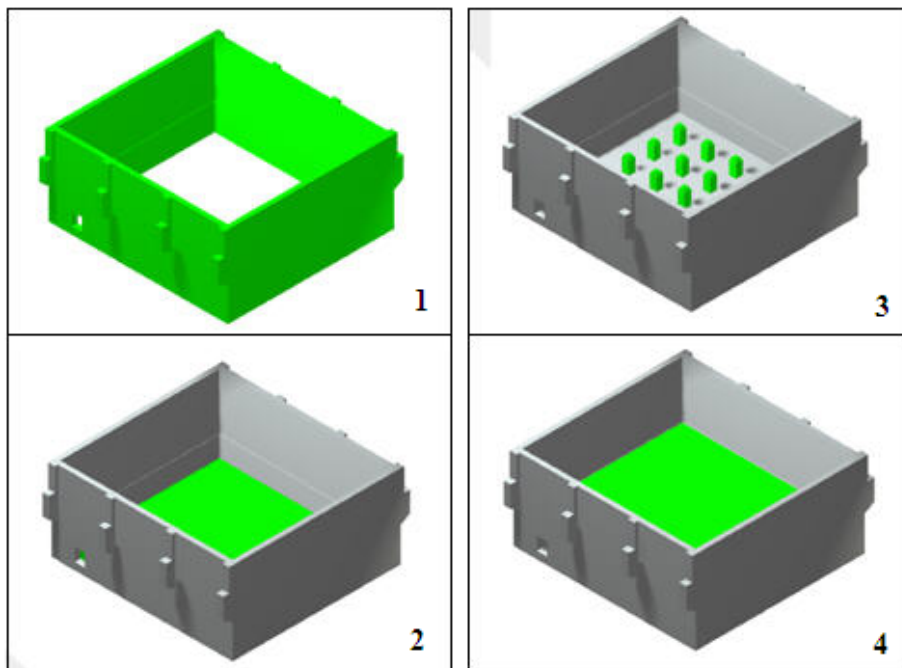


Figuur 8-35: Bekistingsprincipe van de wanden, met illustratie van de stortbuis.



Figuur 8-36: Principeschema van de voeg tussen de modulewand en de ondersteunende plaat (een identiek systeem wordt toegepast voor de voeg tussen de modulewand en de funderingsplaat).

Bovenstaande constructiesequentie van de modules wordt schematisch weergegeven in Figuur 8-37. Zodra een set van aangrenzende modules is gebouwd, kan de staalconstructie worden gerealiseerd om de module zo snel als mogelijk tegen weersinvloeden te beschermen. Wanneer de rolbanen voor de rolbrug zijn geplaatst, kunnen de rolbruggen worden geplaatst en kan de geïsoleerde bekleding op zijn plaats worden gemonteerd.



Figuur 8-37: Voorgestelde constructievolgorde.

Wanneer vier modules gevuld zijn met monolieten en afgedekt met een laag afschermingsplaten, wordt de uitbating gestopt tot wanneer de structurele topplaten zijn gestort en de twee rolbruggen verplaatst zijn naar de volgende groep van vier modules. De realisatie van de structurele topplaten, hieronder beschreven, noodzaakt het gebruik van beide rolbruggen en hun hulptakels van 50 kN:

- Installatie van tijdelijke veiligheidsbarrières.
- Vullen van de ruimten tussen de monolieten en de modulewanden met grind (door het inblazen van grind) om de functionele ruimte op te vullen.
- Plaatsen van een kunststof-folie om te vermijden dat beton wegloopt door de kleine openingen tussen de afschermingsplaten.
- Storten van een dunne laag mager beton om de integriteit van de kunststof-folie te beschermen.
- Plaatsen van de wapeningsstaven/netten (verbinding met wapening van de modulewanden d.m.v. koppelingen).
- Storten van de structurele topplaat waarbij de modulewanden zelf dienst doen als zijbekisting.
- Verplaatsen en inregelen van de rolbruggen naar de volgende sectie.

### Opvulling inspectieruimtes

De opvulling van de inspectieruimtes wordt besproken in HS10, §10.3.2.

[R8-30] bespreekt het effect van de thermische belasting op de omringende structuren als gevolg van de hydratatie van de grout. De studie toont aan dat dit aanvaardbaar is voor de omringende structuren.

### 8.6.2 Monoliet

Zie HS07, §7.5.

### 8.6.3 Afschermingsplaten

De **afschermingsplaten** zullen net als de caissons gemaakt worden in de caissonfabriek. De betonsamenstelling is momenteel in ontwikkeling en zal dezelfde grondstoffen gebruiken als het beton van de caissons; alleen worden er geen wapeningsstaven gebruikt maar metalen vezels. De afschermingsplaten worden vanuit de caissonfabriek naar de IPM gebracht. Van daar worden ze met de trolley naar de bergingsmodules gebracht. Dit kan bovenop een type I monoliet ofwel voert de trolley een rit uit enkel met een of meerdere afschermingsplaten.

### 8.6.4 Funderingen

Na de terreinvoorbereidingswerken bevindt het grootste deel van de site zich op het laagste niveau van de fundering (grindlaag), namelijk 25,4 mTAW.

#### Grondverbetering (zand-bentoniet)

De grondverbetering wordt aangebracht in lijn met de procedure beschreven in CUR 33 [R8-12]. Het bentoniet wordt uitgespreid over het aanwezige zand waarna het in-situ ingemengd wordt totdat een voldoende homogeen resultaat bereikt wordt. Nadien volgt een nivellering en verdichting. De nominale dikte van de laag is 40 cm (na verdichting).

Voor de eigenlijke uitvoering zal er een testpaneel gemaakt worden om de geschikte uitvoeringsparameters te bepalen (type materieel, verdichtingsprocedure, ...).

#### Grind

Het storten, uitspreiden en verdichten van de grindlaag wordt uitgevoerd in overeenstemming met het "*Standaardbestek 250 V-3.3 Onderfundering type II*".

Het grind wordt gestort in verschillende lagen. De dikte hiervan wordt bepaald door de aannemer. Elke laag heeft ten minste een dikte van 1,5 maal de grootste korrelgrootte.

#### Zand-cement ophoging

Het storten, uitspreiden en verdichten van de zand-cement ophoging wordt uitgevoerd in overeenstemming met het "*Standaardbestek 250 IX-1 Zandcement*".

De zand-cement ophoging is 2,0 m dik (na verdichten) en wordt gerealiseerd in lagen van ongeveer 25 cm dik. Realisatie van de zand-cement ophoging kan alleen uitgevoerd worden bij geschikte weersgesteldheid<sup>28</sup>.

---

<sup>28</sup> De aanleg is verboden wanneer de temperatuur, afgelezen onder thermometerhut om 8 u 's morgens, lager is dan 1°C of 's nachts lager was dan -3°C. Bij vorst dient het zandcement 7 dagen lang doelmatig te worden beschermd. De temperatuur aan het oppervlak van de ophoging mag niet onder +1 °C komen. Bij hevige regenval moet de aanleg van zandcement gestaakt worden. Indien nodig worden er na vries of hevige regen corrigerende maatregelen getroffen, zoals het afschrapen en heraanleggen van de bovenste laag.

Na de constructie van de modules zal een keuring van de zand-cement ophoging uitgevoerd worden dicht bij de modules en herstellingen zullen uitgevoerd worden indien nodig.

### Geotextiel

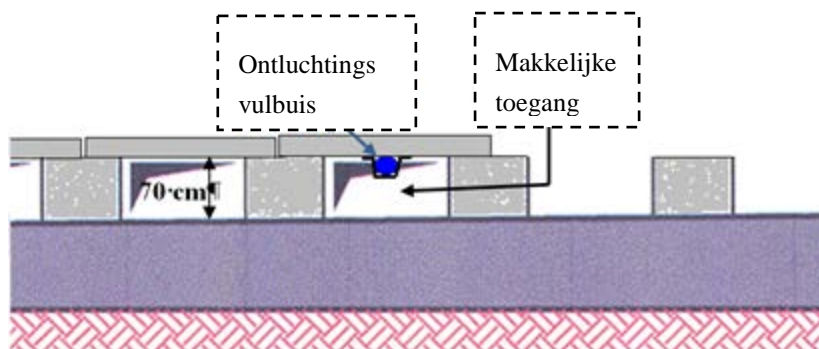
De overlap bij de plaatsing van geotextiel bedraagt ten minste 50 cm in beide richtingen.

### Geogrid

De tussenliggende geogrid wordt geplaatst in overeenstemming met het "standaardbestek 250" voor "onderfunderingen type II". De overlap bij de plaatsing van geogrid bedraagt ten minste 50 cm in beide richtingen.

### 8.6.5 Inspectiegalerij, drainagesysteem en anti-badkuipsysteem (ABS)

Zoals beschreven in §8.6.1 wordt de **inspectiegalerij** ter plaatse op de site gestort, in dezelfde periode als de aangrenzende modules. Tijdens de constructie van de ondersteunende platen en de installatie van het **drainagesysteem** zelf moeten de leidingen die nodig zijn tijdens de sluitingsfase worden geïnstalleerd. Eerst wordt de *ontluchtingsbuis* bevestigd tegen de onderkant van de geprefabriceerde steunplaten. Er is enkel 60 tot 80 cm vrije hoogte onder deze steunplaten. Dit maakt het plaatsen van de leiding moeilijker. Om deze reden worden de geprefabriceerde platen in een bepaalde volgorde geplaatst zodanig dat de toegang tot de leidingruimte gemakkelijker wordt (Figuur 8-38).



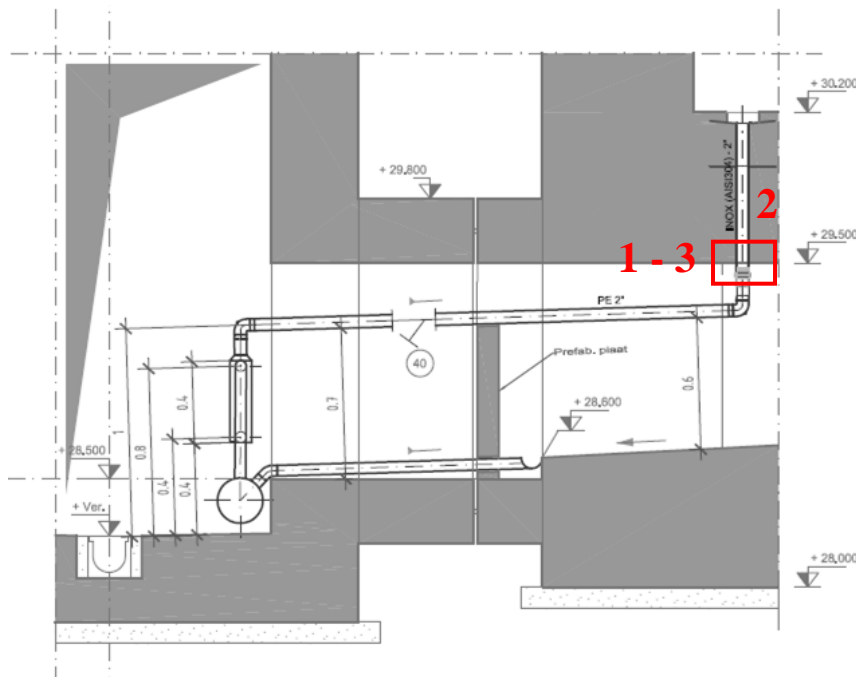
Figuur 8-38: Inplanting van de ontluchtingsbuis tegen de bodem van de geprefabriceerde platen.

Vervolgens wordt de *drainageleiding* geplaatst (zie Figuur 8-39):

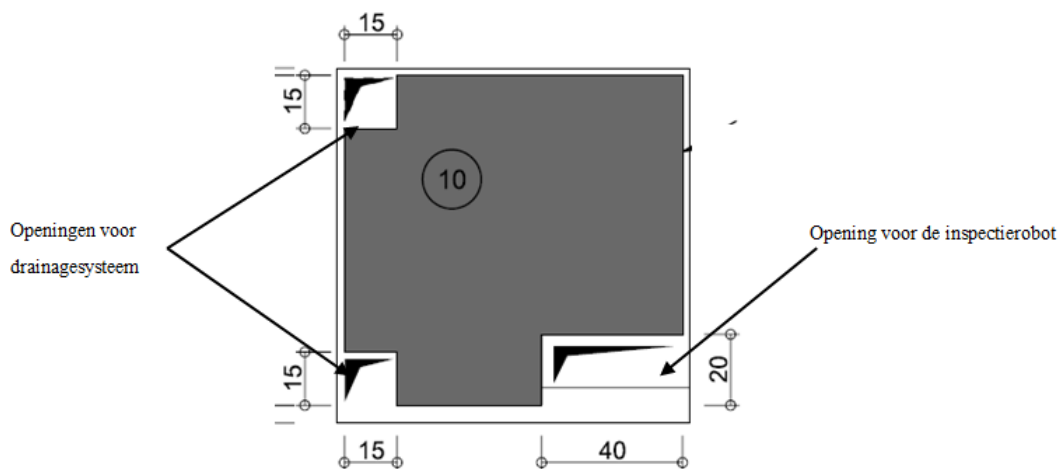
1. Een opening wordt gemaakt in de geprefabriceerde plaat het dichtst aan de voorkant van de opening in de muur gelegen is;
2. Het deel van de leiding boven de geprefabriceerde plaat tot er net onder wordt geplaatst. De buitenzijde van de leiding is zodanig uitgevoerd om de aanhechting met beton te verbeteren (buis wordt voorzien van een kraag en/of opgeruwd/gecoat voor een betere hechting). Het wordt op zijn plaats gehouden door enkele bevestigingen die voldoende sterk moeten zijn om de leiding geklemd te houden tijdens het storten en trillen van het beton;
3. Daarna wordt het gedeelte van de resterende opening in de afsluitplaat gevuld om de ondoordringbaarheid van de platen tijdens het storten van het beton te verzekeren;

- Om het bovenste deel van de ondersteunende plaat te realiseren wordt er beton op de geprefabriceerde platen gestort.

Nadat de twee types leidingen in de module geplaatst zijn, moet het deel van de leidingen tussen de module en de inspectiegalerij worden geplaatst. Na de bouw van de galerij, kan het resterende deel van het drainagesysteem worden geplaatst. De leidingen die uit de ondersteunende platen komen worden d.m.v. een flens aangesloten. Het drainagesysteem wordt getest op lekken (bv. gastest). De verbindingstunnels worden vervolgens afgesloten met een afsluitplaat (Figuur 8-40) die zorgt voor de afsluiting van de openingen tussen inspectieruimte en inspectiegalerij.



Figuur 8-39: Uitvoeringsfasen voor het plaatsen van de leiding tijdens de realisatie van de ondersteunende plaat van de modules.



Figuur 8-40: Principetekening van de afsluitplaat (exacte positie en afmeting van de openingen kunnen nog evolueren).

Het overgrote gedeelte van het drainagesysteem is toegankelijk tijdens de operationele fase. Dit gedeelte kan bijgevolg ingeschakeld worden in de inspectie- en onderhoudsprocedures en eventuele herstellingen zijn eenvoudig uitvoerbaar. Indien herstellingen nodig zijn aan het kleine gedeelte dat zich achter de afsluitplaat bevindt, zullen specifieke procedures voorgesteld worden. Deze kunnen – indien nodig - het tijdelijk verwijderen van de afsluitplaat met zich meebrengen.

Om de werking van het drainagesysteem te optimaliseren worden er in de richting parallel aan de inspectiegalerij gootjes voorzien in de ondersteunende plaat (zie §8.5.5.4). De nominale diepte van deze gootjes varieert tussen 5 en 45 mm. Er wordt dezelfde tolerantie aangehouden als voor de positionering van de wapening: +/- 5 mm. De gootjes worden gerealiseerd tijdens het storten van de ondersteunende plaat: ze worden uitgekist met een roestvast stalen profiel dat mee ingestort wordt en ter plaatse blijft. De positionering van het profiel gebeurt door middel van afstandshouders tussen het profiel en de wapening van de ondersteunende plaat en tijdelijke bevestigingspunten houden de goot tijdens het storten ter plaatse. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld de semi-doorgaande bekistingstrekkers gebruikt worden die zich in de modulewand bevinden en die op dat moment nog niet afgedicht zijn. In theorie is het op deze wijze mogelijk de wapeningsdekking tussen de goot en de onderliggende wapening te respecteren. Mocht dit niet overal het geval zijn, is dit geen probleem aangezien het roestvast stalen profiel ter plaatse blijft en er dus geen contact is tussen de atmosfeer (met CO<sub>2</sub>) en het beton van de goot. Deze uitvoeringswijze zorgt bovendien voor een verbeterde afvoer van water in de goot naar de drainageopeningen. Het profiel zal uit hetzelfde materiaal vervaardigd worden als de drainagebuizen doorheen de ondersteunende plaat, AISI 304. Voor een bespreking van dit materiaal en het verwachte gedrag wordt verwezen naar HS05, §5.12.2.

Zie HS10 (§10.2) voor beschouwingen omtrent de activering van het **ABS** tijdens de sluitingsfase.

## **8.6.6 Vast stalen dak**

### **8.6.6.1 Specifieke constructienormen en voorschriften**

De van toepassing zijnde constructienormen en wettelijke voorschriften zijn opgenomen in de aanbestedingsprocedures. De constructiecodes voor de stalen dakstructuur bevatten volgende onderwerpen:

- Staal: Eurocode - algemeen
- Staal: de Belgische nationale bijlagen en andere voorschriften
- Lassen: Eurocode - algemeen
- Lassen: de Belgische nationale bijlagen en andere voorschriften
- Bouten: Eurocode - algemeen
- Bouten: de Belgische nationale bijlagen en andere voorschriften
- Brandbeveiliging: Eurocode - algemeen
- Brandbeveiliging: de Belgische nationale bijlagen en andere voorschriften

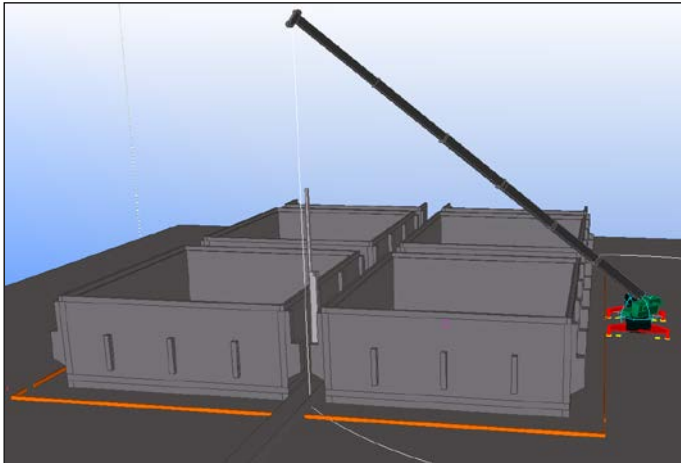
### **8.6.6.2 Beschrijving**

De volledige staalconstructie voor één module (kolommen, vakwerk, verbanden, rolbaan, gordingen, torens, loopbruggen,...) zal zo snel als mogelijk worden geplaatst nadat de betonwerken voor deze module voltooid zijn en de sokkels voldoende uitgehard zijn.

Zwaar materiaal is vereist om de stalen onderdelen op hun plaats te hijsen. De hijsarm van de mobiele kraan mag de betonnen modules niet raken tijdens de montagewerken (Figuur 8-41). De hijscapaciteit van de kraan moet voldoende groot zijn zodat de grote stalen onderdelen geplaatst kunnen worden. Een mobiele kraan van 450 ton is voldoende voor de zware kolommen, spanten en verbanden (zie Figuur 8-42 voor een voorbeeld van een dergelijke kraan). Op elk ogenblik dient de stabiliteit van de geassembleerde stalen onderdelen gewaarborgd zijn (bijkomende schoring kan noodzakelijk zijn).

Het manueel assembleren van de elementen kan enkel gebeuren door personeel onder de beveiliging van leeflijnen en veiligheidsnetten, om zware valongevallen te allen tijde te vermijden.

De zware mobiele kraan kan twee aangrenzende modules tegelijkertijd bedienen. Een verkorting van de montagetijd kan verkregen worden door de hoeveelheid aan materieel en personeel te vergroten. Een kraan met een kleinere hijscapaciteit (maar met een lange hijsarm) kan ingezet worden om de minder zware elementen te plaatsen zoals de loopbruggen, gordingen, dakbedekking, goten,...



**Figuur 8-41: Mobiele kraan bedient 2 aangrenzende modules.**



**Figuur 8-42: Voorbeeld van een mobiele kraan 450 ton.**

Er is speciale aandacht voor het ontwerp en de ontmanteling van de dakstructuur (inclusief de tijdelijke tussenwand). De ontmanteling moet uiteraard op een veilige manier gebeuren maar bovendien zodanig dat de kans op beschadiging van de bergingsmodules zo klein mogelijk is. De ontmanteling van deze structuur worden beschreven in [OD-167], §6.3.3.

## 8.6.7 Afdekking

### 8.6.7.1 Specifieke constructienormen en voorschriften

De realisatie van de aarden afdekking is gebaseerd op de normen die hierna zijn opgelijst. De opgedane ervaring van bestaande afdekkingen wordt toegepast (bijvoorbeeld: proefafdekking van ANDRA en ENRESA, afdekkingen van klassieke storten, ...).

#### Classificatie van materialen

- EN 12620 Aggregaten voor beton, 2002
- EN 13242 Aggregaten voor ongebonden en hydraulisch gebonden materialen voor burgerlijke bouwkunde en wegenbouw, 2002
- NF P 11-300 Grondwerken. Classificatie van materialen gebruikt bij de bouw van ophogingen en afsluitlagen bij wegeninfrastructuur, september 1992
- Standaardbestek 250, versie 3.1, 2016

De volgende NBN EN normen met betrekking tot « Geotextiel en geotextiel gerelateerde producten » zijn van toepassing:

- NBN EN 13249 Vereiste eigenschappen voor gebruik bij de bouw van wegen en andere verkeerszones (exclusief spoorwegen en asfaltlagen), 2001
- NBN EN 13251 Vereiste eigenschappen voor toepassing bij grondwerken, funderingen en keermuren, 2001
- NBN EN 13252 Vereiste eigenschappen voor toepassing in drainagesystemen, 2001

Deze normen worden vervolledigd door een nationaal toepassingsdocument (technische voorschriften PTV 829 - versie 3.1 - 2010) dat opgemaakt werd door de werkgroep voor standaardisatie van de BGS (*Belgian Geosynthetics Society*), dit is de Belgische commissie van de CEN / TC 189 *Geosynthetics*.

- NBN EN 13493 Geosynthetische barrières. Vereiste eigenschappen voor gebruik bij de bouw voor opslag van vaste afvalstoffen en bergingssites, 2005
- CFG – *Comité Français des Géosynthétiques*, Uitgave n°10 – Algemene aanbevelingen voor het uitvoeren van afdichtingen door middel van geomembranen, 1991
- CFG – *Comité Français des Géosynthétiques*, Uitgave n°12 – aanbevelingen voor het uitvoeren van afdichtingen door middel van geosynthetische bentoniet, 1998

#### Implementatie

De volgende documenten, vervolledigd door SETRA-LCPC (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) zijn van toepassing:

- Richtlijn voor wegegrondwerken, realisatie van ophogingen en zandlagen, Uitgave I en II, GTR SETRA-LCPC, juli 2000



- Technische richtlijn, aanaarden van greppels en herstellen van wegen, SETRA-LCPC, mei 1994
- Technische richtlijn, Organisatie van de kwaliteitszorg in grondwerken, januari 2000

### 8.6.7.2 Beschrijving

Aan het einde van fase Ia moeten de volgende stappen volgen:

1. Het plaatsen van een bitumineuze folie bovenaan alle structurele topplaten en de bovenzijde van de modulewanden. Deze laag voorkomt het binnendringen van water tot de afdekking gerealiseerd is. Het is eveneens de basis voor de ondoorlatende topplaat.
2. Geleidelijk verwijderen van de bekleding en de staalconstructie door gebruik te maken van een 450 ton (of meer) mobiele kraan en een telescopisch platform dat op de bovenste plaat rijdt om het ontmantelen te vergemakkelijken.
3. De grind- en zandtalud wordt nu uitgebreid als basis voor de afdekking. Het zand wordt laag voor laag geplaatst om de betonnen modules te beschermen tegen weerschommelingen tot aan het niveau van de ondoorlatende topplaat. Zijgangen en het middelste gedeelte boven de galerij worden gelijktijdig met zand gevuld.
4. De ondoorlatende topplaat wordt nu samen met de vlotplaten gestort met zand als funderingslaag.
5. De aarden afdekking kan nu aangebracht worden.

Een gefaseerde benadering kan worden toegepast voor de stappen 1-4: deze stappen kunnen worden uitgevoerd op bijvoorbeeld slechts twee modules tegelijk. Op deze manier wordt de tijd dat de modules minder beschermd zijn tegen weersomstandigheden tot een minimum beperkt.

#### Bitumenlaag

De algemene werkwijze voor het plaatsen van geomembranen (positioneren, verbinden van de strips) moet gerespecteerd worden.

Om de hechting van het geomembraan met de betonnen plaat te verbeteren, wordt er een bitumineuze impregnatie aangebracht op de betonnen oppervlakte in banden met een breedte van ongeveer 50 cm; de tussenafstand is afhankelijk van de breedte van de rollen. Na droging wordt het geomembraan gelast op de impregnatielaag.

De dichting tussen twee aangrenzende stroken wordt verkregen door geautomatiseerd lassen met hete lucht, gebruik makend van een soldeermachine. De dichtingen worden gerealiseerd met longitudinale overlappingsen van minimum 20 cm.

#### Ondoorlatende topplaat en vlotplaten

De ondoorlatende topplaat zal in één continue beurt of in meerdere beurten gestort worden. Dit gebeurt met vezelversterkt beton, zonder klassieke wapeningsstaven.

Testpanelen worden opgelegd aan de aannemer om de werkbaarheid, vakmanschap en homogeniteit te verifiëren.

#### Aarden afdekking

Het plaatsen van de verschillende lagen wordt uitgevoerd volgens gekende praktijken. Dit zal getest worden op een grote schaal (~40 x 60 m) en een lange termijn (~30 jaren) met een proefopstelling (“*proefafdekking*”); specificaties zullen opgesteld worden op basis van de opgedane ervaring.

De huidige uitvoering van elke laag en het ontwerp van de proefafdekking is beschreven in [OD-158].

Een specifiek aspect van de aarden afdekking is dat ze lagen van gecompacteerd zand (of klei) bovenop niet-gecompacteerd zand (of klei) bevat<sup>29</sup>. De wijze waarop men de lagen zal aanbrengen staat beschreven in [OD158] (appendix 5). Het verdichten van een laag bovenop een niet-gecompacteerde laag zal er niet voor zorgen dat de onderliggende laag mee gecompacteerd wordt. De lagen worden steeds aangelegd met aangepaste machines, met een specifiek gewicht, compactie-energie, snelheid,... Deze parameters bepalen welke diepte beïnvloed wordt en bijgevolg welke diepte gecompacteerd wordt door de machine. Om de effecten en de procedure van het compacteren na te gaan (densiteit, doorlatendheid), zullen op voorhand teststroken worden aangelegd. Deze dienen ter bepaling van de technische parameters voor de verdichtingsmachines (snelheid, trilfrequentie, aantal passages,...) en laten toe na te gaan of de verdichtingsgraad van de lagen voldoet aan de bestekseisen. Verder vermelden we dat het tegen de regels van de kunst is om een laag, die zich op een geomembraan bevindt, te gaan compacteren. De functie van de niet-gecompacteerde lagen is de volgende:

- kleilaag: bescherming van de GCL tegen zware verdichting, deze wordt in één elementaire laag aangelegd. In de praktijk kunnen twee lagen van 30 cm worden aangebracht, waarbij de bovenste laag zal worden gecompacteerd.
- zandlaag: drainerende eigenschap voor de laterale afvoer van water

Voor zowel de zand- als de kleilaag is het bovendien niet erg indien de niet-gecompacteerde laag iets meer verdicht wordt door het verdichten van de laag erboven of door het gewicht van de erbovenliggende lagen. Hun basisfunctie blijft in dat geval nog steeds verzekerd.

### **Zand ophoging**

Het zand wordt uitgespreid in opeenvolgende elementaire lagen met een uniforme dikte na verdichting en een voldoende grote dwarse helling om stilstaand water te voorkomen. De dikte van de lagen en het aantal passen hangt af van het verdichtingsmateriaal; ze zijn gebaseerd op de aanbevelingen van de Technische richtlijn “Constructing embankments and capping layers (Aanleggen van ophogingen en deklagen)” [Boekdeel I en II, GTR SETRA-LCPC, juli 2000].

Het profiel van de helling wordt verkregen door de overschotmethode op de ophoging toe te passen. Deze methode bestaat erin extra breedte en/of dikte bij het theoretische profiel aan te brengen om de optimale voorgeschreven verdichting in alle lagen te verkrijgen.

Praktisch bestaat de methode erin de ophoging breder te realiseren (horizontaal ~1 m) over de volledige hoogte. Vervolgens wordt de helling afgeschraapt zodat de goed verdichte materialen vrij komen te liggen. Het teveel aan materiaal wordt herwonnen.

De mate van verdichten wordt uitgedrukt door de bereikte dichtheid te vergelijken met de optimale dichtheid die verkregen wordt bij het uitvoeren van een normale Proctor test. De kwaliteitsniveaus voor verdichten die behaald moeten worden voor ophogingen zijn 98,5 % van de OPN voor de ophoging grenzend aan de verticale wanden van de modules en 95 % van de OPN voor het lichaam van de ophoging.

---

<sup>29</sup> De niet gecompacteerde lagen zijn enkel voorzien in de infiltratie barrière en in de bio-intrusiebarrière van het referentieprofiel.

## 8.6.8 Manutentiewerktuigen

### 8.6.8.1 Specifieke constructienormen en voorschriften

De van toepassing zijnde constructienormen en wettelijke voorschriften zijn uitgewerkt in de aanbestedingsprocedures. De constructiecodes voor de manutentiewerktuigen bevatten volgende onderwerpen.

- NBN normen en Eurocodes.
- NUREG-0554: SFP kranen voor kerncentrales.
- Belgische en Internationale commissie Elektrotechnische normen.
- Richtlijn 2006/42/EC: Machine richtlijn.
- Richtlijn 2014/30/EU: Elektromagnetische compatibiliteit (EMC).
- Richtlijn 2014/35/EU inzake het op de markt aanbieden van elektrisch materiaal bestemd voor gebruik binnen bepaalde spanningsgrenzen.
- Richtlijn 2000/367/CEE: Brandweerstand.
- IEEE normen (Instituut voor Ingenieurs Elektriciteit en Elektronica).
- Belgische en Internationale commissie Elektrotechnische normen.

### 8.6.8.2 Beschrijving

In tegenstelling tot de specificatie voor modules en grondwerken zullen de manutentiewerktuigen (kranen, grijpers, trolleys, ...) worden aanbesteed op basis van performantievoorschriften.

Het onderzoek en de testen worden stelselmatig uitgevoerd tijdens levering, productie in de werkplaats en assemblage op de site.

De beschrijving van het onderzoek, de testen bij inbedrijfname, de periodieke keuringen, de eindoplevering en operationele inspecties zullen door de aannemer gedocumenteerd worden in overeenstemming met de vereisten van de toepasselijke codes en normen en gedocumenteerd worden in testrapporten.

De testen worden uitgevoerd voorafgaand aan de productie, tijdens de productie (controle van de dimensies, proeven op monsters, ...), tijdens de eindfase van de constructie (verbindingen, aarding, kalibratie, toegang, geometrie,...), blanco test zonder lading in de fabriek, nominale belastingstesten in de fabriek (SFP testcriteria,...) en controles op de site.

De interfaces tussen elke uitrusting van de verschillende leveranciers worden behandeld tijdens de inbedrijfstellingsfase.

## 8.6.9 Behandeling van non-conformiteiten

Deze paragraaf gaat over niet-conforme materialen, onderdelen of componenten (niet-conformiteiten met de conformiteitscriteria die zowel materieel als niet-materieel kunnen zijn). Acties die het uitbatingpersoneel moet ondernemen bij afwijkingen van de uitbatingslimieten en -voorwaarden of bij falen van uitrustingen die belangrijk zijn voor de nucleaire veiligheid zullen in HS17 beschreven worden.

[R8-22] beschrijft het kwaliteitsborgingsprogramma voor de bergingssite. Dit programma is conform met de eisen die opgelegd worden door het KB veiligheidsvoorschriften kerninstallaties [R8-23] en het document 10 CFR 50 Bijlage B [R8-24] waarop het sterk gebaseerd is.

NIRAS is ISO 9001-gecertificeerd. ISO 9001 is een management- of procesnorm, geen veiligheidsnorm. [R8-22] is een aanvulling op de ISO-9001 en het Geïntegreerde Beheersysteem (IMS) dat wordt beschreven in HS03, §3.2. Het steunt op de 10 CFR 50 Bijlage B-vereisten [R8-24] om te voorzien in een alomvattend 'nucleair' kwaliteitsborgingsprogramma.

Onderstaande vat het algemeen engagement van NIRAS samen voor de behandeling van niet-conformiteiten en het nemen van correctieve maatregelen en is geldig zowel voor de caissons, monolieten als de modules, afdekking en aanbehoren.

### 8.6.9.1 Niet-conforme materialen, onderdelen of componenten

#### Identificatie, bestemmingsklasse van niet-conformiteiten

In eerste instantie zal getracht worden om niet-conformiteiten te vermijden, en indien vermijden niet mogelijk is, ze te beperken in frequentie en effect door preventieve maatregelen te bepalen.

Niet-conforme items zullen gemeld worden aan alle betrokken organisaties, inclusief de DFC (voor QC1, QC2 en QC3 items<sup>30</sup>). De veiligheidsautoriteit is geen deel van de betrokken organisaties. De behandeling van niet-conformiteiten wordt in overleg met de veiligheidsautoriteit uitgevoerd, zie verder.

Niet-conforme items zullen geïdentificeerd worden door leesbare markering, *tagging* of andere methoden die niet schadelijk zijn voor het item, hetzij op het item hetzij op de container of op de verpakking die het item bevat. Niet-conforme items zullen afgezonderd worden. Indien identificatie en afzondering onpraktisch of onmogelijk zijn omwille van fysieke omstandigheden, zullen andere maatregelen getroffen worden om onbedoeld gebruik uit te sluiten.

Verdere verwerking, levering, installatie of gebruik van een niet-conform item zal uitgevoerd worden afhankelijk van de evaluatie en goedkeuring van een bestemmingsklasse (*disposition*) voor het item door daartoe gemachtigd personeel. De bestemmingsklasse kan zijn: gebruik in de staat waarin het zich bevindt ('*use-as-is*'), keur af, herstel of herwerk. Personeel dat de evaluatie uitvoert om voor te stellen welke bestemmingsklasse aan het item toegewezen wordt, zal over de volgende kwaliteiten beschikken:

- Aangetoonde competentie in het specifieke evaluatiedomein

---

<sup>30</sup> In HS02 (§2.8.7) worden drie veiligheidsklassen (VK) gedefinieerd:

- “*Safety class*” SSC (SC SSC): SSC met een M-rol voor een veiligheidsfunctie
- “*Safety significant*” SSC (SS SSC): SSC met een C-rol voor een veiligheidsfunctie (en geen M-rol)
- “*Safety related*” SSC (SR SSC): SSC van belang voor de veiligheid die geen M- of C-rol heeft voor een veiligheidsfunctie.

Het QA-programma voor de oppervlaktebergingsinstallatie voor categorie A-afval te Dessel bevat drie Kwaliteitsklassen: QC1 tot QC3. De QC van elke SSC wordt bepaald in functie van de veiligheidsklassering. De Kwaliteitsklasse bepaalt de mate waarin het QA-programma voor elke SSC wordt toegepast. Een SC SSC zal een QC1 hebben, een SS SSC zal minimaal een QC2 hebben, en een SR SSC zal minimaal een QC3 hebben.

- Voldoende kennis van de eisen
- Toegang tot pertinente achtergrondinformatie

Voor niet-conformiteiten met de conformiteitscriteria van HS08 en HS15 is de goedkeuring van de veiligheidsautoriteit (goedkeuring van de gunstige beslissing van de DFC) noodzakelijk (volgens een toepasselijke procedure die voor de start van de bouw uitgewerkt zal worden):

- vóór het uitvoeren van de correctieve acties; en
- om het niet-conformiteitsdossier als afgesloten te kunnen beschouwen;

Deze procedure moet door de veiligheidsautoriteit gevalideerd worden en zal minstens de volgende punten specificeren:

- Definitie van een niet-conformiteit;
- Rol en verantwoordelijkheden van elk partij in het proces van behandeling van niet conformiteiten;
- De wijze waarop iedereen (elke partij) een niet-conformiteit kan melden
- De wijze waarmee verzekerd wordt dat alle niet-conformiteiten behandeld worden (gemeld, geïdentificeerd, geanalyseerd, gecategoriseerd, behandeld en opgevolgd) in overeenstemming met alle veiligheidseisen;
- De wijze waarop verzekerd wordt dat de correctieve maatregelen bestudeerd, gereviseerd (door een onafhankelijke dienst, intern of extern), gerealiseerd en gecontroleerd worden in overeenstemming met alle veiligheidseisen;
- De snelle communicatie van de niet-conformiteiten aan de veiligheidsautoriteit (timing).

#### **8.6.9.2 Documentatie van niet-conformiteiten**

De documentatie van niet-conforme items zal volgende elementen bevatten:

- Datum van de niet conformiteit;
- Betrokken SSC;
- Betrokken personeel (met identificatie van hun functie);
- Beschrijving van de niet-conformiteit met identificatie van de niet gerespecteerde veiligheidseis(en);
- Bepaling van de oorsprong van de niet-conformiteit;
- Bepaling van het “opnieuw voorkomen” van de niet-conformiteit;
- Analyse van de invloed van de niet-conformiteit op veiligheid;
- Beschrijving van de preventieve acties;
- Beschrijving van de correctieve acties;
- Analyse RACI (*Responsible, Accountable, Consulted, Informed*);
- Analyse en goedkeuring van het niet-conformiteitsdossier door een onafhankelijke dienst, intern of extern, vóór het uitvoeren van de correctieve actie;
- Goedkeuring door de veiligheidsautoriteit van het gunstig advies door de onafhankelijke dienst, intern of extern, vóór het uitvoeren van de correctieve actie;
- Uitvoering van de correctieve actie;

- De nodige aanpassingen van documentatie en van het veiligheidsrapport;
- Analyse en goedkeuring van het afsluiten van het niet-conformiteitsdossier door een onafhankelijke dienst, intern of extern.
- Goedkeuring door de veiligheidsautoriteit van het gunstig advies van de onafhankelijke dienst, intern of extern, betreffende het afsluiten van het niet-conformiteitsdossier.

#### **8.6.9.3 Corrigerende maatregelen**

Omstandigheden die nadelig zijn voor de kwaliteit, zoals defecten, storingen, gebreken, afwijkingen, beschadigde materialen en uitrusting en niet-conformiteiten zullen geïdentificeerd worden en zo spoedig mogelijk gecorrigeerd worden. Er zullen prioriteiten bepaald worden, waarbij in eerste instantie rekening zal worden gehouden met de veiligheidsimpact van het afwijkende SSC. De omvang en de impact van de nadelige toestand zal bepaald worden (de verantwoordelijkheden hiervoor worden beschreven in §3.4 van HS03). In geval van een toestand die aanzienlijk nadelig is voor de kwaliteit, zal de oorzaak van de toestand bepaald worden en zullen corrigerende maatregelen getroffen worden om herhaling te voorkomen. De identificatie, oorzaak en corrigerende maatregel voor de aanzienlijk nadelige omstandigheden voor de kwaliteit, zullen gedocumenteerd en gerapporteerd worden aan de nodige managementniveaus.

De correcte uitvoering van correctieve maatregelen zal worden geverifieerd en goedgekeurd door de DFC en de veiligheidsautoriteit volgens een toepasselijke procedure die voor de start van de bouw uitgewerkt zal worden.

Aanpassingen (aan het ontwerp, methodologie, ...) voor de behandeling van de non-conformiteit zullen als wijziging aan een bestaande installatie behandeld worden (art. 12 van ARBIS).

Corrigerende (en preventieve) maatregelen worden opgevolgd door gebruik te maken van de tool voor het beheer van correctieve en preventieve acties. Deze maatregelen moeten het aantal niet-conformiteiten tot een minimum beperken en vermijden dat reeds geobserveerde niet-conformiteiten zich herhalen.

#### **8.6.9.4 Planning van corrigerende maatregelen**

Er zal een planning worden opgemaakt worden van corrigerende maatregelen die volgende aspecten zal aankaarten:

- Remediërende acties: maatregelen die nodig zijn om het initiële probleem op te lossen.
- Onderzoekmaatregelen: evaluatie van de omvang en de impact van de toestand die nadelig is voor de kwaliteit.
- Bepaling van de onderliggende oorzaak: identificatie van de onderliggende oorzaak van de toestand die nadelig is voor de kwaliteit. Deze oorzaak kan technisch of organisatorisch van aard zijn.
- Maatregelen om herhaling uit te sluiten: maatregelen die noodzakelijk zijn om herhaling te voorkomen van de toestand die nadelig is voor de kwaliteit.
- Onderzoeken of een gelijkaardige niet-conformiteit zich reeds (onopgemerkt) voorgedaan heeft op reeds geaccepteerde items.
- Planningsschema: mijlpalen voor het voltooiën van de corrigerende maatregel-planning, inclusief verwachte voltooiingsdata en identificatie van verantwoordelijke personen.

#### **8.6.9.5 Meermaals voorkomende omstandigheden die nadelig zijn voor de kwaliteit**

Voor meermaals voorkomende omstandigheden die nadelig zijn voor de kwaliteit, zal NIRAS:

- De gebeurtenissen bepalen die tot de voorvallen leiden.
- Kennis verwerven over de technische activiteiten, werken en de organisatorische context die verband houden met de toestand die nadelig is voor de kwaliteit.
- Algemene implicaties en effecten op voltooid werk constateren en identificeren.
- De mate bepalen waarin gelijkaardige kwaliteitsproblemen of voorbodes van het probleem geïdentificeerd zijn.
- De doeltreffendheid bepalen van reeds genomen corrigerende maatregelen.
- Overwegen om werk dat gelinkt is aan de betreffende activiteit op te schorten.
- Naar behoefte maatregelen voorstellen die de verantwoordelijke organisatie kan nemen om herhaling te voorkomen.

De verantwoordelijkheden hiervoor worden beschreven in §3.4 van HS03.

## 8.7 Conformiteitscriteria

De conformiteitscriteria en hun afleiding zijn gegeven in §8.5. Tabel 8-27 geeft een overzicht. De tabel bevat volgende info:

- ID van het conformiteitscriterium.
- De ontwerpvereiste(n) die aan de basis ligt/liggen van het conformiteitscriterium.
- Het conformiteitscriterium.
- De SSC's waarop het conformiteitscriterium van toepassing is.
- De manier waarop de controle op het respecteren van het conformiteitscriterium uitgevoerd zal worden.

Een overzicht van de conformiteitscriteria voor de bergingscolli is gegeven in bijlagen 1 en 2 aan HS15.



Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

Tabel 8-27: Overzicht van conformiteitscriteria.

| CC#   | DR   | CC   | SSC   | QC   |
|-------|--|--|---|--|
| Mod01 | 3  | Minstens 19gew% uitgeharde cementpasta       | Opgevulde inspectieruimte   | Geverifieerd door weging in de betoncentrale volgens de norm NBN EN 206-1 en analyse op stalen |
| Mod02 | 3, 25.d  | Vulgraad $\geq 98\%$ .                       | Opgevulde inspectieruimte   | Geverifieerd door terugstroom uit de ontluchtingsbuizen + ingepompt volume grout               |
| Mod03 | 9.a, 9.c,<br>16.b                                  | Hoeveelheid cement $\geq 320 \text{ kg/m}^3$ | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Betonnen sokkels<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles                                    |
| Mod04 | 9.a, 9.c,<br>16.b                                  | W/C $\leq 0.5$                               | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Betonnen sokkels<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles                                    |
| Mod05 | 5.b, 6.c,<br>9.a/c/g,<br>12.a/b/c,<br>16.b, 25.a/b | Druksterkteklasse minimaal C40/50            | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Betonnen sokkels<br>Ondersteunende plaat  | Geverifieerd volgens NBN EN 206-1  |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR         | CC   | SSC   | QC  |
|--------------|------------|--|---|---|
|              |            |  | Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat   |   |
| <b>Mod06</b> | 5.f        | Hydraulische geleidbaarheid $\geq 10^{-4}$ m/s                 | Opvulmateriaal in tussenruimten   | Test volgens norm NBN ISO/TS 17892-11                       |
| <b>Mod07</b> | 6.a, 8, 20 | Hydraulische geleidbaarheid $\geq 10^{-6}$ m/s                 | Opgevulde inspectieruimte   | Test volgens norm NBN ISO/TS 17892-11                       |
| <b>Mod08</b> | 9.a, 16.b  | HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1 | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Betonnen sokkels<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles |
| <b>Mod09</b> | 9.a        | Gehalte aan SO <sub>3</sub> in het cement $\leq 2,5$ gew%      | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Betonnen sokkels<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles |
| <b>Mod10</b> | 9.a        | Gehalte aan MgO in het cement $\leq 1$ gew%                    | Structurele topplaat<br>Modulewand  | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR    | CC  | SSC  | QC  |
|--------------|-------|---|--|---|
|              |       |   | Betonnen sokkels<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat  |   |
| <b>Mod11</b> | 9.a/b | LA cement conform aan de norm NBN B12 109   | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Betonnen sokkels<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat<br>Opgevulde inspectieruimte | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles (cement-analyse)                          |
| <b>Mod12</b> | /     | /   | /  | /   |
| <b>Mod13</b> | 9.a   | Uithardingstemperatuur te beperken $\leq 65^{\circ}\text{C}$ , voorwaarde is dat ook aan Mod11 voldaan is en het equivalent alkali-gehalte van het beton, berekend volgens de methode uit TRA 21-600:2008 $\leq 3 \text{ kg/m}^3$ is. Indien niet aan deze twee voorwaarden voldaan is dient de uithardingstemperatuur $\leq 60^{\circ}\text{C}$ te zijn. | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Betonnen sokkels<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat                              | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles + metingen van de temperatuur in het werk |
| <b>Mod14</b> | 9.a/b | Niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO) met een laag gehalte aan silica (< 4%)   | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Ondersteunende plaat   | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR                  | CC  | SSC                       | QC  |
|--------------|---------------------|---|---------------------------|---|
|              |                     |   | Prefab element            |   |
|              |                     |   | Kolommen                  |   |
|              |                     |   | Funderingsplaat           |   |
|              |                     |   | Opgevulde inspectieruimte |   |
| <b>Mod15</b> | 9.d                 | CEM I cement  | Structurele topplaat      | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles                           |
|              |                     |   | Modulewand                |   |
|              |                     |   | Ondersteunende plaat      |   |
|              |                     |   | Prefab element            |   |
|              |                     |   | Kolommen                  |   |
|              |                     |   | Funderingsplaat           |   |
| <b>Mod16</b> | 9.g, 25.a/b         | Wapening $\geq$ Figuren 65 t.e.m. 68 van annex 4 aan [OD-166]   | Structurele topplaat      | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten |
| <b>Mod17</b> | 9.g, 25.a/b         | Wapening $\geq$ Figuren 69 t.e.m. 76 van annex 4 aan [OD-166]   | Modulewand                | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten |
| <b>Mod18</b> | 9.g, 25.a/b         | Wapening $\geq$ Figuren 61 t.e.m. 64 van annex 4 aan [OD-166]   | Ondersteunende plaat      | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten |
| <b>Mod19</b> | 9.g, 25.a/b         | Wapening $\geq$ Figuren 57 t.e.m. 60 van annex 4 aan [OD-166]   | Funderingsplaat           | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten |
| <b>Mod20</b> | 9.g, 12.a/b, 25.a/b | 4 staven diameter 16 mm aan elke zijde van de kolom + dwarskrachtwapening 5 staven van 12 mm (tussenafstand 150 mm) in elk richting | Kolommen                  | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten |
| <b>Mod21</b> | 9.g, 12.a/b, 25.a/b | Wapeningsstaal met karakteristieke vloeigrens $f_{yk} \geq 500$ MPa   | Structurele topplaat      | Geverifieerd op materiaalfiches en testen   |
|              |                     |   | Modulewand                |   |
|              |                     |   | Ondersteunende plaat      |   |
|              |                     |   | Prefab element            |   |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR                | CC   | SSC   | QC   |
|--------------|-------------------|--|---|--|
|              |                   |  | Kolommen<br>Funderingsplaat<br>Betonnen sokkels   |  |
| <b>Mod22</b> | 9.h               | Wapeningsdekking van minstens 40 mm  | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat                     | Opmeting van de wapeningsdekking alvorens het betonneren kan starten volgens de norm NBN EN 13670. Er zal na ontkisting ook een verificatie uitgevoerd worden, bv. met een pachometer. |
| <b>Mod23</b> | 10                | Superplastificeerders van de types sulfonated naftaleen-formaldehyde condensaat of polycarboxylaat (wanneer vereist door de doenbaarheid van de constructie) | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat<br>Betonnen sokkels | Geverifieerd in documenten van de leveranciers.  |
| <b>Mod24</b> | 11                | Nominale dikte $\geq 40$ cm  | Structurele topplaat  | Geverifieerd op de bekistingsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten   |
| <b>Mod25</b> | 11                | Nominale dikte $\geq 70/85$ cm   | Modulewand  | Geverifieerd op de bekistingsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten   |
| <b>Mod26</b> | 11                | Gecombineerde nominale dikte $\geq 70$ cm  | Ondersteunende plaat<br>Prefab element  | Geverifieerd op de bekistingsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten   |
| <b>Mod27</b> | 12.a/b,<br>25.a/b | Wapening $\geq$ Figuren 35 t.e.m. 38 van annex 4 aan [OD-166]  | Structurele topplaat  | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten  |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#   | DR                | CC  | SSC   | QC   |
|-------|-------------------|---|---|--|
| Mod28 | 12.a/b,<br>25.a/b | Wapening $\geq$ Figuren 39 t.e.m. 46 en 54 en 55 van annex 4 aan [OD-166]               | Modulewand  | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten  |
| Mod29 | 12.a/b,<br>25.a/b | Wapening $\geq$ Figuren 31 t.e.m. 34 van annex 4 aan [OD-166]                           | Ondersteunende plaat  | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten  |
| Mod30 | 12.a/b,<br>25.a/b | Wapening $\geq$ Figuren 27 t.e.m. 30 van annex 4 aan [OD-166]                           | Funderingsplaat   | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten  |
| Mod31 | 25.a/b            | Wapening $\geq$ 150/150/8/8   | Prefab element  | Bevestigd door de aannemer door berekening, geverifieerd op de wapeningsplannen  |
| Mod32 | 5.f               | Grind '2/8' en gehalte aan fijne deeltjes (doorval door de zeef van 0,063 mm) $\leq$ 2% | Opvulmateriaal in tussenruimten   | Technische fiche en/of proeven ter verificatie van de granulometrie (NBN CEN ISO/TS 17892-4)   |
| Mod33 | 9.c               | Weerstand van aggregaten conform aan de norm NBN B 15-001 (milieuklasse EE3)            | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat           | Gemeten volgens NBN EN 1367-1:2007 of 2:2010   |
| Mod34 | 5.b               | Geen doorgaande macro-scheuren  | Modulewand  | Visuele inspectie + QC op de afwezigheid van doorgaande scheuren kangebeuren door het plaatsen van een voldoende hoge laag water (~1 m) op de ondersteunende plaat |
| Mod35 | 9.b               | Expansie op 16 dagen $<$ 0,10%  | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Opgevulde inspectieruimte | ASTM C 1260 (Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)) of equivalent   |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR  | CC  | SSC  | QC  |
|--------------|-----|---|--|---|
|              |     |   | Funderingsplaat  |   |
| <b>Mod36</b> | 9.b | Expansie < 0,04% op één jaar  | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Opgevulde inspectieruimte<br>Funderingsplaat | ASTM C 1293 (Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction) of equivalent |
| <b>Mod37</b> | 9.g | Scheurwijdte ≤ 0,3 mm   | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Ondersteunende plaat<br>Kolommen<br>Funderingsplaat  | Geverifieerd door visuele controle.   |
| <b>Mod38</b> | 9.a | Gehalte aan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> in het cement moet minimaal 3,5 gew% en maximaal 5,0 gew% zijn | Structurele topplaat<br>Modulewand<br>Betonnen sokkels<br>Ondersteunende plaat<br>Prefab element<br>Kolommen<br>Funderingsplaat          | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |
| <b>Fun01</b> | 3   | Nominaal cementgehalte ≥ 5 gew%   | Zand-cement ophoging   | Geverifieerd door weging bij aanmaak en analyse (achteraf) op stalen  |
| <b>Fun02</b> | 3   | Nominale laagdikte ≥ 2,0 m  | Zand-cement ophoging   | Geverifieerd door topografische opmeting  |
| <b>Fun03</b> | 8   | Hydraulische geleidbaarheid ≥ 10 <sup>-6</sup> m/s  | Zand-cement ophoging   | Meting op kernen volgens NBN ISO/TS 17892-11  |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR               | CC   | SSC  | QC  |
|--------------|------------------|--|--|---|
| <b>Fun04</b> | /                | /  | /  | /   |
| <b>Fun05</b> | 9.b              | Gebruik van CEM III/C  | Zand-cement ophoging   | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |
| <b>Fun06</b> | 19.a             | Bovenzijde zand-cement ophoging op minstens 25,2 mTAW  | Zand-cement ophoging   | Gecontroleerd door topografische opmeting   |
| <b>Fun07</b> | 19.c             | Korrelgroottedistributie: 0/56, D <sub>50</sub> tussen 10 en 35 mm en gehalte aan fijne deeltjes (doorval door de zeef van 0,063 mm) ≤ 3%  | Drainagelaag   | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |
| <b>Fun08</b> | 19.c             | Slijt en schuurvastheid: Los Angeles Index (LA) ≤ 30, Micro-Deval (M <sub>DE</sub> ) ≤ 25 en LA + M <sub>DE</sub> ≤ 45   | Drainagelaag   | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |
| <b>Fun09</b> | 12.a, 12.b, 25.a | De samendrukbaarheidsmodulus M <sub>I</sub> (plaatproeven) bedraagt minimaal 17 MPa en bij de proef met de slagsonde wordt er geëist dat de gemiddelde indringing over de gehele diepte, per laag van 10 cm van de ophoging ≤ 40 mm/slag is. | Zand-cement ophoging<br>Drainagelaag<br>Site zand-egalisatie<br>Grondverbetering | Controles via plaatproeven volgens meetmethode OCW 40/78 of meting met de lichte slagsonde volgens meetmethode OCW 39/78      |
| <b>Fun10</b> | 12.a, 12.b, 25.a | Cohesie ≥ 6 kPa  | Zand-cement ophoging   | Controle via het cementgehalte (door weging bij aanmaak)  |
| <b>Fun11</b> | 8, 10, 25.a      | Bentonietgehalte ≤ 4 +/-1 gew%   | Grondverbetering   | Laboproeven zoals bv. beschreven in CUR-033 bijlage D   |
| <b>Fun12</b> | 9.b              | Expansie op 16 dagen < 0,10%   | Zand-cement ophoging   | ASTM C 1260 (Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)) of equivalent            |
| <b>Fun13</b> | 9.b              | Expansie < 0,04% op één jaar   | Zand-cement ophoging   | ASTM C 1293 (Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction) of equivalent |
| <b>Gda01</b> | 3                | Minstens 5gew% cement  | Opvulmateriaal inspectiegalerij  | Geverifieerd door weging bij aanmaak in de mengcentrale en door analyse (achteraf) op stalen                                  |



Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR                                     | CC   | SSC   | QC  |
|--------------|--|--|---|---|
| <b>Gda02</b> | 6.a                                    | Hydraulische geleidbaarheid $\geq 10^{-3}$ m/s   | ABS in de ondersteunende plaat  | Verificatie dat er geen materiaal in de buis komt bij de constructie (sluitingsfase). |
| <b>Gda03</b> | 6.a, 20                                | Hydraulische geleidbaarheid $\geq 10^{-6}$ m/s   | Opvulmateriaal inspectiegalerij<br>Opvulmateriaal van de verbindingstunnels | Meting volgens norm NBN ISO/TS 17892-11   |
| <b>Gda04</b> | 11                                     | Nominale wanddikte $\geq 40$ cm  | Inspectiegalerij  | Geverifieerd op de bekistingsplannen en metingen op de werf                           |
| <b>Gda05</b> | 16.b                                   | Initiële helling van de inspectiegalerij $\geq 0.3\%$ + verwachte differentieële zetting → zoals weergegeven op het plan 124_MGW_GCCO_004_C  | Inspectiegalerij  | Geverifieerd op de bekistingsplannen en metingen op de werf                           |
| <b>Gda06</b> | 19.b                                   | Minimale niveau van de toegang $\geq 25,2$ mTAW  | Inspectiegalerij  | Geverifieerd op de bekistingsplannen en metingen op de werf                           |
| <b>Gda07</b> | 25.a                                   | Minimale hoeveelheden wapening zijn gegeven in figuren 7 tot en met 16, 18 en 19 van de nota 'ONDRAF/4NT/0375285/000/00, MGW - Galerie d' inspection : Note de Calcul Stabilité, July 2015'. | Inspectiegalerij  | Geverifieerd op de wapeningsplannen en op de werf alvorens het betonneren kan starten |
| <b>Gda08</b> | 25.a                                   | Druksterkteklasse minimaal C40/50  | Inspectiegalerij  | Geverifieerd volgens NBN EN 206-1   |
| <b>Gda09</b> | 25.a                                   | Vloei grens van het wapeningsstaal $\geq 500$ MPa  | Inspectiegalerij  | Geverifieerd op materiaalfiches en door testen  |
| <b>Gda10</b> | 25.d                                   | Opvulgraad $\geq 95$ vol%  | Opge vulde inspectiegalerij   | Geverifieerd door meting van het volume van het ingebrachte materiaal.                |
| <b>Apl01</b> | 5.a, 6.b, 7, 9.c, 16.b                 | Hoeveelheid cement $\geq 320$ kg/m <sup>3</sup>  | Prefab afschermingsplaten   | Geverifieerd volgens NBN EN 13369   |
| <b>Apl02</b> | 5.a/b, 6.b, 7, 9.c, 16.b               | W/C $\leq 0.5$   | Prefab afschermingsplaten   | Geverifieerd volgens NBN EN 13369   |
| <b>Apl03</b> | 5.a, 6.b, 7, 9.c, 12.a/b, 16.b, 25.a/b | Druksterkteklasse minimaal C40/50  | Prefab afschermingsplaten   | Geverifieerd volgens NBN EN 13369   |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR    | CC   | SSC                       | QC  |
|--------------|-------|--|---------------------------|---|
| <b>Apl04</b> | 9.a   | HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1   | Prefab afschermingsplaten | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |
| <b>Apl05</b> | 9.a   | Gehalte aan SO <sub>3</sub> in het cement ≤ 2,5 gew%   | Prefab afschermingsplaten | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |
| <b>Apl06</b> | 9.a   | Gehalte aan MgO in het cement ≤ 1 gew%   | Prefab afschermingsplaten | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |
| <b>Apl07</b> | 9.a/b | LA cement conform aan de norm NBN B12 109  | Prefab afschermingsplaten | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles (cement-analyse)  |
| <b>Apl08</b> | /     | /  | /                         | /   |
| <b>Apl09</b> | 9.a/b | Niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO) met een laag gehalte aan silica (< 4%)  | Prefab afschermingsplaten | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |
| <b>Apl10</b> | 25.b  | Wapeningsinhoud (vezelgehalte) ≥ XXX kg/m <sup>3</sup>   | Prefab afschermingsplaten | Door weging   |
| <b>Apl11</b> | 11    | Nominale dikte ≥ 30 cm   | Prefab afschermingsplaten | Geverifieerd op de bekistingsplannen en metingen  |
| <b>Apl12</b> | 10    | Superplastificeerders van de types sulfonated naftaleen-formaldehyde condensaat of polycarboxylaat (wanneer vereist door de doenbaarheid van de constructie) | Prefab afschermingsplaten | Geverifieerd in documenten van de leveranciers.   |
| <b>Apl13</b> | 9.a   | Gehalte aan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> in het cement moet minimaal 3,5 gew% en maximaal 5,0 gew% zijn  | Prefab afschermingsplaten | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles   |
| <b>Apl14</b> | 9.b   | Expansie op 16 dagen < 0,10%   | Prefab afschermingsplaten | ASTM C 1260 (Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)) of equivalent            |
| <b>Apl15</b> | 9.b   | Expansie < 0,04% op één jaar   | Prefab afschermingsplaten | ASTM C 1293 (Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction) of equivalent |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR                   | CC   | SSC   | QC   |
|--------------|----------------------|--|---|--|
| <b>Apl16</b> | 5.b                  | Geen doorgaande macro-scheuren   | Prefab afschermingsplaten                       | Onder water zetten van het bovenzijde van de plaat of andere equivalente maatregelen   |
| <b>Apl17</b> | 9.a                  | Uithardingstemperatuur te beperken $\leq 65^{\circ}\text{C}$ , voorwaarde is dat ook aan Apl07 voldaan is en het equivalent alkali-gehalte van het beton, berekend volgens de methode uit TRA 21-600:2008 $\leq 3 \text{ kg/m}^3$ is. Indien niet aan deze twee voorwaarden voldaan is dient de uithardingstemperatuur $\leq 60^{\circ}\text{C}$ te zijn.  | Prefab afschermingsplaten                       | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles + Tijdens de opstart van de fabricage zal de temperatuur tijdens de uitharding van enkele afschermingsplaten gemeten worden ter bevestiging. |
| <b>Apl18</b> | 9.c                  | Weerstand van aggregaten conform aan de norm NBN B 15-001 (milieuklasse EE3)   | Prefab afschermingsplaten                       | Gemeten volgens NBN EN 1367-1:2007 of 2:2010   |
| <b>Dak01</b> | 12.b/c,<br>25.a/b    | Materiaaleigenschappen :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Voor kokerprofielen <ul style="list-style-type: none"> <li>o Vloei grens <math>f_y</math>: 275 MPa</li> <li>o Treksterkte <math>f_u</math>: 430 MPa</li> <li>o Als de nominale dikte groter is dan 40 mm: <math>f_y</math>: 255 MPa en <math>f_u</math>: 410 MPa</li> </ul> </li> <li>• Voor andere secties <ul style="list-style-type: none"> <li>o Vloei grens <math>f_y</math>: 355 MPa</li> <li>o Treksterkte <math>f_u</math>: 510 MPa</li> <li>o Als de nominale dikte groter is dan 40 mm: <math>f_y</math>: 335 MPa en <math>f_u</math>: 470 MPa</li> </ul> </li> </ul> | Vast stalen dak                                 | Geverifieerd in documenten van de leveranciers   |
| <b>Dak02</b> | DR12.d               | Brandklasse dakbedekking is BROOF(T1) of equivalent  | Vast stalen dak                                 | Geverifieerd in documenten van de leveranciers   |
| <b>Afd01</b> | 7, 9.c               | Hoeveelheid cement $\geq 320 \text{ kg/m}^3$   | Ondoorlatende topplaat                          | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles  |
| <b>Afd02</b> | 7, 9.c               | W/C $\leq 0.5$   | Ondoorlatende topplaat                          | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles  |
| <b>Afd03</b> | 9.f                  | Hoekigheid: C90/3  | Bio-intrusie barrière                           | Geverifieerd volgens NF EN 933-5   |
| <b>Afd04</b> | 5.b, 7, 9.c,<br>12.a | Druksterkteklasse minimaal C40/50  | Ondoorlatende topplaat                          | Geverifieerd volgens NBN EN 206-1  |
| <b>Afd05</b> | 5.b, 12.a            | Breukenergie $\geq 2700 \text{ Nm/m}^2$  | Ondoorlatende topplaat                          | Geverifieerd door laboproeven op werfproefstukken (NBN EN 14651).  |
| <b>Afd06</b> | 5.b, 12.c            | Laagdikte boven de klei $> 1$ à $1,5 \text{ m}$  | Biologische laag<br><hr/> Bio-intrusie barrière | Topografische opmeting   |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#   | DR    | CC   | SSC                                     | QC   |
|-------|-------|--|---|--|
| Afd07 | 5.b   | Verdichting $\geq 95$ % OPN  | Infiltratiebarrière                     | Geverifieerd door plaatproeven (meetmethode OCW MN 40/78)  |
| Afd08 | 5.c/e | Initiële helling bovenaan $\geq 2,5$ %   | Biologische laag<br>Infiltratiebarrière | Topografische opmeting   |
| Afd09 | 10    | Totale sulfaatconcentratie $\leq 1,2$ gew%   | Infiltratiebarrière                     | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles (laboanalyses op klei)   |
| Afd10 | 12.b  | Initiële helling van de zijkanten van de aarden afdekking $\leq 33$ %  | Aarden afdekking                        | Topografische opmeting   |
| Afd11 | 26    | Minimale laagdikte: 0,5 m  | Aarden afdekking                        | Topografische opmeting   |
| Afd12 | 9.a   | HSR cement volgens NBN B12 108 o SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1  | Ondoorlatende topplaat<br>Vlotplaten    | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles  |
| Afd13 | 9.a/b | LA cement conform aan de norm NBN B12 109  | Ondoorlatende topplaat<br>Vlotplaten    | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles  |
| Afd14 | 9.a   | Uithardingstemperatuur te beperken $\leq 65^{\circ}\text{C}$ , voorwaarde is dat ook aan Afd13 voldaan is en het equivalent alkali-gehalte van het beton, berekend volgens de methode uit TRA 21-600:2008 $\leq 3$ kg/m <sup>3</sup> is. Indien niet aan deze twee voorwaarden voldaan is dient de uithardingstemperatuur $\leq 60^{\circ}\text{C}$ te zijn. | Ondoorlatende topplaat<br>Vlotplaten    | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles + metingen van de temperatuur in het werk  |
| Afd15 | 5.e   | Initiële helling bovenaan $\geq 1,5$ %   | Ondoorlatende topplaat                  | Topografische opmeting   |
| Afd16 | /     | /  | /                                       | /  |
| Afd17 | 5.a   | Hydraulische geleidbaarheid: $\leq 10^{-9}$ m/s  | Infiltratiebarrière                     | In-situ meting van de hydraulische geleidbaarheid met een custom-built infiltrometer die vooraf gekalibreerd wordt op testpanelen: voor infiltrometer volgens norm NF X30-420 of ASTM 5093; in boorgat volgens NF X30-424 of NF X30-425. |
| Afd18 | 9.a/b | Niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO) met een laag gehalte aan silica ( $< 4$ %)  | Ondoorlatende topplaat<br>Vlotplaten    | Geverifieerd in documenten van de leveranciers en controles  |
| Afd19 | 9.c   | Weerstand van aggregaten conform aan de norm NBN B 15-001 (milieuklasse EE3)   | Ondoorlatende topplaat<br>Vlotplaten    | Gemeten volgens NBN EN 1367-1:2007 of 2:2010   |

Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

| CC#          | DR        | CC   | SSC   | QC  |
|--------------|-----------|--|---|---|
| <b>Afd20</b> | 5.b       | Geen doorgaande macro-scheuren   | Ondoorlatende topplaat                            | Visuele controle  |
| <b>Afd21</b> | 9.e, 12.b | Initiële helling bovenaan $\leq 5\%$   | Biologische laag                                  | Topografische opmeting  |
| <b>Afd22</b> | 9.e, 12.c | Conform richtlijnen appendix D van NUREG 1632:<br>mediaan diameter ( $D_{50}$ ): $\geq 44$ mm<br>minimale dikte van de laag: $1.5 \times D_{50}$ of $D_{100}$ (afhankelijk van welk van beide waarden de grootste is)<br><br>Filterlaag:<br>minimale dikte: 15 cm, korrelgroottes tussen 4,7 mm en 76,2 mm, $D_{15}(\text{filter}) < 5 \cdot D_{85}(\text{base})$<br><br>Voet van de bio-intrusie laag (=overgang tussen de helling van de afdekking en het natuurlijke terrein):<br>mediaan diameter ( $D_{50}$ ): $\geq 98$ mm, lengte: $\geq 1,5$ m, dikte: $\geq 0,29$ m | Bio-intrusie barrière                             | Topografische opmeting en korrelgrootte-analyses volgens NF P 94-056 en 057   |
| <b>Afd23</b> | 9.f       | Korrelgrootte: minimaal 0/120  | Bio-intrusie barrière                             | Korrelgrootte-analyses volgens NF P 94-056 en 057   |
| <b>Afd24</b> | 9.b       | Expansie op 16 dagen $< 0,10\%$  | Ondoorlatende topplaat<br>Vlotplaten              | ASTM C 1260 (Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)) of equivalent            |
| <b>Afd25</b> | 9.b       | Expansie $< 0,04\%$ op één jaar  | Ondoorlatende topplaat<br>Vlotplaten              | ASTM C 1293 (Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction) of equivalent |
| <b>Man01</b> | 11        | Equivalente schildingdikte (koolstofstaal): moet 9,5 cm bedragen aan de zijkanten en 5,4 cm aan de boven- en onderzijdes.  | Transportcontainer                                | Gecontroleerd op de uitvoeringsplannen en door meting tijdens fabricage.  |
| <b>Div01</b> | 13.b      | Minimale inhoud: 200 m <sup>3</sup>  | Bluswatertank                                     | Geverifieerd op de uitvoeringsplannen.  |
| <b>Div02</b> | 22        | Klasse F2 volgens NBN C30-004 of equivalent  | Instrumentatie en controle<br>Elektrische voeding | Geverifieerd op documenten van de leveranciers  |
| <b>Div03</b> | 22        | Bekleding van optische vezels: brandvertragend   | Instrumentatie en controle<br>Elektrische voeding | Geverifieerd op documenten van de leveranciers  |

## 8.8 Kwaliteitsborging en kwaliteitscontrole

### 8.8.1 Ontwerp

#### 8.8.1.1 Algemeen

Algemene aspecten van kwaliteitsmanagement tijdens de ontwerpfase zijn beschreven in HS03. Het grootste deel van het ontwerp werd uitgevoerd door de aannemer van NIRAS: Tractebel Engineering (TE). TE implementeerde een kwaliteitsmanagement systeem dat conform de vereisten van ISO 9001 is [R8-38].

#### 8.8.1.2 Kwalificatie, verificatie en validatie

Bij het ontwerp worden verschillende modellen, datasets (invoerparameters) en computercodes gebruikt. Een belangrijke overweging bij de keuze van deze modellen, datasets (input-parameters) en computercodes is dat ze moeten geschikt zijn voor het doel. Het beoordelen van de geschiktheid voor het doel brengt overwegingen van verificatie en validatie met zich mee. Deze concepten werden toegepast op verschillende niveaus van de ontwerpketen. Tabel 8-28 geeft een referentielijst van de verificatie- en validatierapporten met betrekking tot onderwerpen die worden besproken in het huidige hoofdstuk.

Tabel 8-28: Referentielijst voor QVV rapporten.

| Onderwerp           | referentie      |
|---------------------|-----------------|
| Overstromingsrisico | OD-084          |
| Zettingen           | OD-129, OD-193  |
| Laterale gronddruk  | OD-194          |
| Modules             | OD-196          |
| Condensatie         | OD-233          |
| Stalen dakstructuur | OD-213          |
| Aarden afdekking    | OD-197, [R8-41] |

### 8.8.2 Constructie

#### 8.8.2.1 QA Algemeen

Algemene aspecten van kwaliteitsmanagement tijdens de constructiefase zijn beschreven in HS03 §3.4.12. De **organisatiestructuur** tijdens de constructie wordt daar eveneens besproken, net zoals een aantal belangrijke principes:

- De aannemers moeten materiaalcertificaten en uitvoeringsprocedures voorleggen om overeenkomst met de aanbieder aan te tonen.

- Het toepassen van *holdpoints* tijdens de constructiewerken.

Een QA programma gebaseerd op 10 CFR 50 Appendix B wordt door NIRAS ontwikkeld (zie ook §8.6.9). De activiteiten belangrijk voor de kwaliteit van SSC's van belang voor de veiligheid zullen in functioneringsgidsen, procedures, en/of instructies beschreven worden. De ontwikkeling van de gedetailleerde procedures (waar, hoe, wanneer, door wie, ...) zal elders gebeuren.

### 8.8.2.2 QC tijdens de constructie

Tijdens de constructie en de installatie van de SSC's zal de kwaliteit van de as-built SSC's en het voldoen aan de opgelegde specificaties worden geverifieerd en gewaarborgd door een QA/QC-programma. Specifieke ontwerpnormen en voorschriften zijn voor elke component van belang voor de veiligheid in §8.5 gegeven. De controlemiddelen voor elk conformiteitscriterium zijn samenvattend gespecificeerd in de rechter kolom van Tabel 8-27.

De controles specifiek voor de bouw van de bergingsmodules zullen geschieden gebaseerd op de geldende "toepassingsreglementen". Dit zijn op ISO 9001 gebaseerde documenten, waarin de organisatorische en technische vereisten tot het productieproces – om aan een betreffende norm te voldoen - opgelijst staan. Ze vinden hun oorsprong in het kader van de BENOR-certificatie. Deze documenten omschrijven twee verschillende controles: een *industriële zelfcontrole (IZC)* en een *externe controle*.

De industriële zelfcontrole bestaat uit een reeks beproevingen uitgevoerd door de fabrikant zelf die betrekking hebben op het volledige productieproces. Hiervoor zijn ze van toepassing op o.a.:

- De productie-installatie
- De meetuitrusting
- De ruwe grondstoffen
- De intermediaire producten
- Het eindproduct

De toepassingsreglementen beschrijven ook eenduidig hoe deze IZS georganiseerd moet zijn en welke proeven hoe vaak en conform welke methode dienen uitgevoerd te worden. Dit alles met twee doelen:

- Initieel vast te stellen dat het eindproduct conform de opgelegde vereisten is.
- Continu te verifiëren dat het eindproduct stabiel is, conform de vereisten, in de tijd.

Men noemt bovenstaande respectievelijk *type proeven* en *fabriekscontrole*.

NIRAS zal het deel van het toepassingsreglement, hetwelk de IZC beschrijft, bovendien uitbreiden met bijkomende beproevingen om vertrouwen in de langetermijnperformantie van het eindproduct te onderbouwen.

Tevens wordt de langetermijnperformantie van het eindproduct op regelmatige basis geverifieerd.

De correcte implementatie van deze IZC wordt op zijn beurt gecontroleerd door een externe partner, gecertificeerd voor dergelijke controles. Op, al dan niet vooraf gecommuniceerde momenten, bezoekt dit extern controleorgaan de maatschappelijke- en/of de productiezetel van de fabrikant. Tijdens deze

bezoeken verifieert deze derde partij de correcte implementatie van de IZC alsook de algemene organisatie van de producent. Tevens zal de derde partij via al dan niet destructieve beproevingen de kwaliteit van het eindproduct en/of intermediaire producten controleren en de producent alsook NIRAS wijzen op eventuele onvolkomenheden.

Het QA/QC-programma bestaat in zijn volledigheid uit onderstaande documenten:

- Europese en/of nationale normen
- Nationale toepassingsreglementen
- Uitbreidingen op de normen
- Uitbreidingen op de toepassingsreglementen

Met behulp van deze documenten worden alle criteria die van toepassing zijn opgelegd alsook het kwaliteitsborgingssysteem.

De uitbreidingen aan normen en toepassingsreglementen zijn gesteund op REX, R&D en de toekomstige vergunningsvoorwaarden.

Het QA/QC-programma zal worden verwerkt in de aanbestedingsdocumenten.

Er zal een voortdurende opvolging van de bouwwerken ter plaatse worden uitgevoerd om de conformiteit van de gebruikte materialen, het respecteren van de afgesproken uitvoeringsmethoden en procedures, het toepassen van goede praktijken na te gaan, ... Deze controles worden uitgevoerd in parallel met het opmeten van de hoeveelheden.

### **8.8.3 Monitoring na constructie**

Aspecten van structurele monitoring worden behandeld in HS16, §16.5 en [OD-177]. §16.6 van HS16 geeft een beschrijving en justificatie van de monitoring van het drainagewater en §16.7 van HS16 geeft een beschrijving en justificatie van de monitoring van de proefafdekking.



## 8.9 Ondersteunende documenten aan Hoofdstuk 8

- [OD-011] NIRAS, Formulation of the concrete for the modules, concrete containers and cementitious backfill, NIRAS nota 2007-1876 rev.2 (January 2019)
- [OD-038] NIRAS, Review of sorption values for the cementitious near field of a near-surface radioactive waste disposal facility, NIROND-TR 2008-23 E V1 (April 2009)
- [OD-058] ONDRAF/NIRAS, ALARA-study: dose assessment during the operational phase of the Category A waste repository at Dessel, NIROND-TR 2016-11 E V2 (04/10/2016)
- [OD-065] ONDRAF/NIRAS, Long-term evolution of the multi-layer cover, NIROND-TR 2010-03E Version 2 (October 2018)
- [OD-084] ONDRAF/NIRAS, Inschatting van het overstromingsrisico ter hoogte van de noordelijke nucleaire site te Dessel-Mol, NIROND-TR 2011-26 N Version 1 (08/03/2011)
- [OD-086] ONDRAF/NIRAS, Geotechnical report of the disposal site at Dessel, NIROND-TR 2011-41E Version 1 (03/05/2011)
- [OD-107] NIRAS, Additional sorption values for the cementitious barriers of a near surface repository, NIROND-TR 2010-06 E V1
- [OD-120] ONDRAF/NIRAS, Settlements of the disposal structures based on 3D modelling, NIROND-TR 2011-39E Version 4 (September 2018)
- [OD-129] ONDRAF/NIRAS, Qualification, Verification and Validation for the Liquefaction Analysis, NIROND-TR 2011-30E Version 1 (8/11/2011)
- [OD-131] ONDRAF/NIRAS, Detailed design - Monoliths, NIROND-TR 2011-63E Version 3 (November 2018)
- [OD-158] ONDRAF/NIRAS, Final cover and test cover – Principles, Design and implementation, NIROND-TR 2011-79E Version 2 (November 2018)
- [OD-161] ONDRAF/NIRAS, FLAC model for stability evaluation under seismic loading of the disposal facility, NIROND TR-2011-77 E , Version 1 (11/03/2011)
- [OD-165] ONDRAF/NIRAS, Detailed design - Layout, NIROND-TR 2011-60E Version 2 (September 2018)
- [OD-166] ONDRAF/NIRAS, Detailed design - Modules, NIROND-TR 2011-55E Version 3 (September 2018)
- [OD-167] ONDRAF/NIRAS, Detailed design - Steel structure, NIROND-TR 2011-61E Version 2 (September 2018)
- [OD-168] ONDRAF/NIRAS, Detailed design - Handling equipments, NIROND-TR 2011-62E Version 2 (December 2018)
- [OD-177] ONDRAF/NIRAS, Structural Monitoring, NIROND TR-2011-66 E, Version 2 (November 2018)
- [OD-179] ONDRAF/NIRAS, Liquefaction analysis & settlements due to earthquakes, NIROND TR-2011-23 E Version 2 (22/11/2016)
- [OD-187] ONDRAF/NIRAS, Aspects phénoménologiques relatifs aux processus de dégradation chimiques des barrières ouvragées à base de liant hydraulique, NIROND-TR 2011-58 V3 (août 2018)

## Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging

### Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

- [OD-188] ONDRAF/NIRAS, Loading test – Results and Analyses. NIROND-TR 2011-38E (N. Lambert and K. Remeysen), 2011.
- [OD-193] ONDRAF/NIRAS, Qualification, Verification and Validation for the model used to evaluate the settlements of the first tumulus, NIROND-TR 2011-56E Version 1 (30/5/2011)
- [OD-194] ONDRAF/NIRAS, Qualification, Verification and Validation for the model used to assess the lateral earth pressure on the concrete modules, NIROND-TR 2011-33E Version 1 (23/5/2011)
- [OD-196] ONDRAF/NIRAS, Qualification, Verification and Validation for the models used to evaluate the structural response of the concrete modules during phase III, NIROND-TR 2011-64E Version 1 (21/9/2011)
- [OD-197] ONDRAF/NIRAS, Qualification, Verification and Validation for the model used to evaluate the stability of the multi-layer cover under seismic loading, NIROND-TR 2011-20E Version 1 (9/3/2011)
- [OD-198] ONDRAF/NIRAS, Seismic performance of monoliths and modules, NIROND-TR 2011-57 E V3 (June 2018)
- [OD-213] ONDRAF/NIRAS, Qualification, Verification and Validation for the models used to evaluate the structural response of the concrete modules and the steel structure during phase I, NIROND-TR 2011-49 E V1 (27/9/2012)
- [OD-233] ONDRAF/NIRAS, Climatic Design Loads, NIROND-TR 2011-82E Version 3 (08/06/2018)
- [OD-259] TRACTEBEL ENGINEERING, Concrete modules reinforcement checking according to ACI 349, TS101-NTE-3-007 (05/12/2012)
- [OD-260] TRACTEBEL ENGINEERING Proposition de phasage constructif des modules, TS021-NTR-3-003 B (22/11/2010)
- [OD-279] ONDRAF/NIRAS, Optimalisering, NIROND-TR 2008-03 N V1 (februari 2018)
- [OD-281] ONDRAF/NIRAS, Anti-bathtub system: FEFLOW 2D modelling including unsaturated conditions, NIROND-TR 2019-02 E V1 (January 2019)

#### 8.10 Andere referenties

- [R8-1] Aanbeveling van de commissie van 11 December 2003 betreffende de invoering en het gebruik van Eurocodes voor bouwwerken en bouwproducten met een dragende functie (2003/887/EC)
- [R8-2] FANC, Oppervlakteberging, op Belgisch grondgebied, van kortlevend laag- en middelradioactief afval – leidraad over de beschouwing van gebeurtenissen met een externe oorsprong bij het ontwerp van de bergingsinstallatie, FANC nota 008-241-N herz. 2, 07/06/2010
- [R8-3] B. M. Das, Shallow Foundations – Bearing Capacity and Settlement, CRC Press LLC, Florida, 366 p., 1999.
- [R8-4] Richtlijnen voor de toepassing van Eurocode 7 in België: het grondmechanisch ontwerp van kerende constructies: beschoeiingen, WTCB, versie 19/03/2015.
- [R8-5] Tractebel engineering, Estimation of through-thickness cracking risk in the concrete modules, 27/11/2015.

*Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging*

*Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel*

- [R8-6] SCKCEN, EXPECTED EVOLUTION SCENARIO FOR THE SURFACE LLIL-SL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL FACILITY AT DESSEL, BELGIUM - Conceptual and mathematical model description and analysis of results, SCK•CEN ER-0336, november 2018
- [R8-7] Swiss Standard SN 670 010b, Characteristic Coefficients of soils, Association of Swiss Road and Traffic Engineers
- [R8-8] Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables", B. Look, Taylor & Francis Group, London, 2007
- [R8-9] R. Pabalan, R. Glasser, D.A. Picket, G.R. Walter, S. Biswas, M.R. Jucket, L.M. Sabido and J. Myers, Review of literature and assessment of factors relevant to performance of grouted systems for radioactive waste disposal, 2009.
- [R8-10] M. A. Phifer, M. R. Millings and G. P. Flach, "Hydraulic Property Data Package for the E-Area and Z-Area Soils, Cementitious Materials, and Waste Zones," WSRC-STI-2006-00198, Revision 0, September 2006, Washington Savannah River Company, Savannah River Site, Aiken, SC 29808
- [R8-11] AFGC (Association Française de Génie Civil), Concrete design for a given structure service life, 2007
- [R8-12] Stichting CUR, Aanbeveling 33: Granulaire afdichtingslagen op basis van zandbentoniet al dan niet in combinatie met kunststof geomembranen, Gouda, 1996.
- [R8-13] Koninklijk besluit van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen, B.S. 26.04.1995
- [R8-14] Tractebel Engineering, Preliminary design of the impervious top slab, ref. ONDRAF/4NT/0462007/000/01, December 2016
- [R8-15] R. Bonaparte, B.A. Gross, D.E. Daniel, R.M. Koerner & S. Dwyer, (Draft) Technical guidance for RCRA/CERCLA final covers, EPA- 540-R-04-007, Office of Solid Waste and Emergency Response, United States Environmental Protection Agency, Washington DC, April 2004
- [R8-16] R.M. Koerner, Designing with geosynthetics, third edition, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1993.
- [R8-17] EPA, (Draft) Technical Guidance For RCRA/CERCLA Final Covers, Washington, April 2004.
- [R8-18] Dautrebande S., Expertise relative à la protection d'un site de stockage des déchets contre les apports d'eau de pluie. Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux. Département de Génie Rural. UER Hydraulique Agricole, june 1994
- [R8-19] Tractebel Engineering. Toepassing van NUREG 1623 (Design of Erosion Protection for Long-Term Stabilization) op de bio-intrusie barrière en de biologische laag van de afdekking. Interne Nota MD-07-E-02.
- [R8-20] U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2002. Design of erosion protection for long-term stabilization. Final report. NUREG-1623.
- [R8-21] R. Bonaparte, D.E. Daniel & R.M. Koerner, Assessment and recommendations for improving the performance of waste containment systems, EPA/600/R-02/099, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency, December 2002.
- [R8-22] ONDRAF/NIRAS, Kwaliteitsborgingsprogramma NISD, NIROND-TR2015-02 N V1 (januari 2019)
- [R8-23] 30 NOVEMBER 2011. — Koninklijk besluit houdende veiligheidsvoorschriften voor kerninstallaties.

*Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging*

*Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel*

- [R8-24] US NRC 10 CFR 50 Appendix B "Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants and Fuel Reprocessing Plants", §XV "Nonconforming Materials, Parts, or Components" and §XVI "Corrective Action".
- [R8-25] WTCB (juni 1997), Technische voorlichting: cementgebonden bedrijfsvloeren, TV 204
- [R8-26] Vlaamse Milieu Maatschappij 2012, Waterwegwijzer bouwen en verbouwen, ref. D/2012/6871/006.
- [R8-27] Vlaamse Milieu Maatschappij, Diameter en helling van afval- en regenwaterleidingen onder of rond gebouwen, <http://www.vmm.be/water/waterwegwijzerbouwen/waterafvoer/ontwerp-van-een-huisriolering/diameter-en-helling-van-afval-en-hemelwaterleidingen-onder-of-rond-gebouwen> (geconsulteerd december 2014)
- [R8-28] Antonelli, C. & Ranchoux, F. 1977. Technologie et documents à l'usage des dessinateurs de bureau d'études "Pétrole et Pétroléochimie". Paris: Institut Français du Pétrole et Editions Technip.
- [R8-29] Réseau Ferré de France & SNCF, Référentiel Technique pour la réalisation des LGV – Partie Génie Civil, 2006.
- [R8-30] Tractebel Engineering, Concrete modules reinforcement checking for thermal loading due to the hydration of the backfill in the inspection room, TS/4NT/0319148/001/00, 20/06/2014
- [R8-31] ONDRAF/NIRAS, Stress test rapport 2013, NIROND-TR 2013-10 N versie 1, 01/10/2013
- [R8-32] VNS, Assessment of ONDRAF/NIRAS Disposal modules under extreme loadings (earthquake, tornado, snowfall), VNS-TR-13-028 rev. 1, 04/10/2013
- [R8-33] NBN EN 1990: 2002, Eurocode - Grondslagen van het constructief ontwerp
- [R8-34] NBN EN 1990 ANB: 2007, Eurocode - Grondslagen van het constructief ontwerp – nationale bijlage
- [R8-35] NIROND-TR 2011-70 v1, List of selected events of internal and external origin, 30-01-2012.
- [R8-36] NEA, Differences in approach between nuclear and conventional seismic standards with regard to hazard definition, NEA/CSNI/R(2007)17, February 2008
- [R8-37] KB van 30.11.2011 houdende veiligheidsvoorschriften voor de kerninstallaties
- [R8-38] Tractebel Engineering, QUALNUC/4QD/0091436/200/11, Quality Manual applicable to the services delivered by the Nuclear Entity of Tractebel Engineering, 21/06/2018
- [R8-39] US NRC, NUREG 0554, Single-failure-proof cranes / nuclear power plants, May 1979
- [R8-40] ONDRAF/NIRAS, Invloed van de variabiliteit van geotechnische parameters op de verwachte zettingen van de oppervlaktebergingsinstallatie te Dessel, ref. 2018-2229, september 2018
- [R8-41] Tractebel Engineering, ONDRAF/4NT/0627109/000/00, ALL – Qualification, Verification and Validation for the models used to evaluate the stability of the cover and side embankments under static and pseudo-static loading
- [R8-42] VNS-TR-13-014 Rev. 1, Forest fire risk assessment, 2013.
- [R8-43] WTCB, Beton storten tijdens de winterperiode, Digest n°12, 2012.
- [R8-44] Tractebel Engineering, ONDRAF/4NT/0375285/000/00, MGW - Galerie d' inspection : Note de Calcul Stabilité, July 2015

Bijlage 8-1: Lijst van afkortingen

|        |   |
|--------|---|
| ABS    | Anti-badkuipsysteem   |
| ACI    | <i>American Concrete Institute</i>  |
| ALARA  | <i>As Low As Reasonably Achievable</i>  |
| ANB    | <i>Annexe Nationale</i> - Nationale Bijlage   |
| ANDRA  | <i>Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs</i> (Frankrijk)   |
| ARBIS  | Algemeen Reglement op de bescherming van de Bevolking, van de werknemers en van het leefmilieu tegen het gevaar van de Ioniserende Stralingen |
| AREI   | Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties   |
| ASR    | Alkali-silica reactie   |
| BDBE   | Grotere dan ontwerpaardbeving ( <i>Beyond Design Basis Earthquake</i> )   |
| BGS    | <i>Belgian Geosynthetics Society</i>  |
| BP     | Belgoproces   |
| CC     | Conformiteitscriterium  |
| CFG    | <i>Comité Français des Géosynthétiques</i>  |
| CFR    | <i>Code of Federal Regulations</i>  |
| COPRO  | COntrole van de PROducten   |
| CPF    | <i>Controlled permeability formwork</i>   |
| CPT    | <i>Cone Penetration Test</i>  |
| DBE    | Ontwerpaardbeving ( <i>Design Basis Earthquake</i> )  |
| DFC    | Dienst Fysische Controle  |
| DI     | Ontwerpinput ( <i>Design Input</i> )  |
| DR     | Ontwerpvereiste ( <i>Design Requirement</i> )   |
| ENRESA | <i>Empresa Nacional de Residuos Radiactivos</i> (Spanje)  |
| FANC   | Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle ( <i>Federal agency for nuclear control</i> )   |
| fib    | <i>Federation for Structural Concrete</i>   |
| GCL    | <i>Geosynthetic clay liner</i>  |
| GGT    | Gebruiksgrenstoestand (=SLS, <i>Serviceability Limit State</i> )  |
| GRE    | <i>Glass reinforced epoxy</i>   |
| GVK    | Glasvezel Versterkte Kunststoffen   |
| (HD)PE | <i>(High-density) polyethylene</i>  |
| HS     | Hoofdstuk   |
| HSR    | High Sulphate Resistant   |
| IETcc  | <i>Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja</i>   |

|           |  |
|-----------|--|
| IPM       | Installatie voor de Productie van Monolieten (Installation for the Production of Monoliths)  |
| IZC       | Industriële zelfcontrole   |
| KB        | Koninklijk Besluit   |
| LA        | <i>Low Alkali</i>  |
| LCPC      | <i>Laboratoire central des ponts et chaussées</i>  |
| MCL       | <i>Maximum Critical Load</i>   |
| NBN       | Bureau voor Normalisatie   |
| NDT       | <i>Non Destructive Testing</i>   |
| NFPA      | <i>National Fire Protection Association</i>  |
| NIRAS     | Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Spleijstoffen ( <i>Belgian agency for radioactive waste en enriched fissile materials</i> ) |
| NS        | Nafataleensulfonaat  |
| OD        | Ondersteunend Document ( <i>supporting document</i> )  |
| OPN       | <i>Optimal Proctor Normal</i>  |
| PC        | Polycarboxylaat  |
| PE        | Polyethyleen   |
| PGA       | <i>Peak Ground Acceleration</i>  |
| PLC       | <i>Programmable Logic Controller</i>   |
| PN        | <i>Pression Nominale</i> (nominale druk)   |
| PP        | Polypropyleen  |
| QA        | <i>Quality Assurance</i>   |
| QC        | <i>Quality Control</i>   |
| QC1, 2, 3 | <i>Quality Class 1, 2, 3</i>   |
| R&D       | <i>Research and Development</i>  |
| REX       | <i>Retour d'expérience</i>   |
| RF        | <i>Résistance au Feu</i> (Brandweerstand)  |
| SC SSC    | <i>Safety Class SSC</i>  |
| SCK•CEN   | StudieCentrum voor Kernenergie – Centre d'Etudes d'énergie Nucléaire ( <i>Belgian nuclear research centre</i> )                                      |
| SF        | <i>Safety Factor</i>   |
| SFP       | Enkelvoudig storingsveilig ( <i>Single Failure Proof</i> )   |
| SLS       | <i>Serviceability Limit State</i> (=GGT, Gebruiksgrenstoestand)  |
| SR SSC    | <i>Safety Related SSC</i>  |
| SS SSC    | <i>Safety Significant SSC</i>  |
| SSC       | Systemen, Structuren en Componenten belangrijk voor de veiligheid ( <i>Systems, structures en components</i> )                                       |
| TAW       | Tweede Algemene Waterpassing ( <i>second general levelling</i> )   |
| TE        | Tractebel Engineering  |
| UGT       | Uiterste Grenstoestand (=ULS, <i>Ultimate Limit State</i> )  |

*Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging*

*Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinstallatie van categorie A-afval te Dessel*

|      |   |
|------|---|
| ULS  | <i>Ultimate Limit State</i> (=UGT, Uiterste Grenstoestand)            |
| UPS  | Ononderbroken stroomvoorziening ( <i>Uninterrupted Power Supply</i> ) |
| VK   | Veiligheidsklasse   |
| W/C  | Water/cementfactor  |
| WCB  | Watercollectiegebouw (Water Collecting Building)                      |
| WTCB | Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf            |

Bijlage 8-2: Overzicht ontwerpvereisten





*Hoofdstuk 8: Ontwerp en constructie van de berging*

*Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinstallatie van categorie A-afval te Dessel*

Bijlage 8-3: Afleiding ontwerpbasis voorvallen

| #   | Externe gebeurtenis   | Kan ze voorkomen? | >10-7/jaar? | Kan ze een impact hebben? | Verantwoording wanneer de gebeurtenis niet beschouwd werd   | Max. radiologisch impact vóór sluiting [2] (3) | Max. waarschijnlijkheid vóór sluiting [2] | Radiologisch risico vóór sluiting [2] (3) | Impact op het bergingssysteem vóór sluiting [1]   | Max. radiologisch impact na sluiting [2] (3)  | Max. waarschijnlijkheid na sluiting [2] | Radiologisch risico na sluiting [2] (3)  | Impact op het bergingssysteem na sluiting [2] (4)   | DBE?   | Schaal/frequentie  | Verantwoording |
|---|---|-------------------|-------------|---------------------------|---|--|---|---|---|---|---|--|---|--|--|----------------|
| <b>Externe natuurlijke gebeurtenissen</b>   |   |                   |             |                           |   |  |   |   |   |   |   |  |   |  |  |                |
| <b>Meteorologie van de site en de regio</b> |   |                   |             |                           |   |  |   |   |   |   |   |  |   |  |  |                |
| 1   | Neerslag, waaronder regen, hagel, sneeuw en ijs                                 | Ja                | Ja          | Ja                        | -   | S1   | P2  | D   | Er worden geen gevolgen verwacht voor SSCs met operationele of langetermijneffecten aangezien uitloging van beton door water een zeer traag proces is (zie [12]).<br>Schade aan elektrische uitrusting: zie onder.<br>Schade aan de zand-cement ophoping tijdens de bouw: kan tijdens de bouw hersteld worden volgens noodzaak.   | Zie FEP 2.3.05.02 "Extrem neerslag, smeltwater (sneeuw) en geassocieerde overstromingen". De effecten zijn meegenomen in AES3-1 en AES3-2. Berekende risico's voor AES3-1 en AES3-2 zijn 6,3E-7 / jaar en 6,6E-9 / jaar. Hieruit blijkt dat de risico's lager zijn dan 1E-6 / jaar, dewelke als referentiewaarde per scenario gehanteerd wordt. | Ja (voor de sluiting)                   | -  | Ontwerp van het drainagestelsel: zware regenval, 80 mm (= 72u lang regen met een terugkeerperiode van 10 jaar, zie §12.3 van [7]).<br>Ontwerp van het infiltratiebekken: zware regenval, regen met een terugkeerperiode van 100 jaar, zie 4.4.2.3 en bijlage 6 van [14].<br>Gedetailleerde informatie over de waarschijnlijkheid en de schaal van deze gebeurtenis wordt gegeven in bijlage 3 van [8].<br>Ontwerp van de bio-intrusiebarrière: terugkeerperiode van 1225 jaar (zie fiche 11 en [20]). | -  | Daar de gevolgen van deze gebeurtenis, in het geval dat deze zich zou voordoen, niet onacceptabel zijn, moet het referentiebelastinggeval niet gebaseerd zijn op de noodzaak om het radiologische risico tot een acceptabel niveau terug te brengen. Niettegenstaande wordt voor de gelaagde bescherming een drainagestelsel ontworpen dat aangesloten is op een buffertank dat het in de modules opgeslagen water zou kunnen opvangen in het geval dat het dak het niet houdt. De capaciteit van het buffertank is zo ontworpen dat de regen opvangingen wordt in het geval dat de dakstructuur van één module het niet houdt. Het volume van het buffertank dient in staat te zijn om een 72u durende zware regenval op te vangen (dit is genoeg voor een interventie) met een 10-jarige terugkeerperiode, tijdens dewelke er zich 80 mm water verzamelt in de module volgens de formules ontwikkeld door Demarrée voor Ukkel [7, §12.3]. De 10-jarige terugkeerperiode werd gepast geacht om de gevolgen van deze gebeurtenis zoveel mogelijk te beperken zonder dat dit tot overmatige kosten zou leiden. Voor het infiltratiebekken werd een terugkeerperiode van 100 jaar gekozen wegens het feit dat het bekken functioneel blijft (minstens) tot het einde van de reglementaire controlefase (opmerking: er werden in het ontwerp maatregelen genomen om met regenval om te gaan die boven het referentiegeval uitstijgt: waterspuwers voor de dakstructuur en een overloop voor het infiltratiebekken). |                |
| 2   | Neerslag, met inbegrip van sneeuwlagen en ijslagen                              | Ja                | Ja          | Ja                        | -   | S1   | P3  | D   | De stalen dakstructuur voorkomt het contact van afval met water tijdens de operationele periode. Als het dak zou falen, kan het hersteld worden.<br><br>Ontsporing van de trolley door de aanwezigheid van ijs op de sporen. De monoliet die met de trolley vervoerd wordt, kan in dit geval schade oplopen. Er worden verschillende voorzorgen in acht genomen in het ontwerp om de ontsporing van de trolley te voorkomen: ontzingsysteem voor de sporen en beperking van de snelheid van de trolley. Het gebruik van de trolley zal niet toegestaan zijn in extreme omstandigheden.<br><br>De stalen dakstructuur zou op de monolieten of op de rolbrug kunnen vallen. Het vallen van de stalen dakstructuur of de rolbrug op de monolieten heeft geen/weinig gevolgen (radiologische impact <0,1 mSv [18]).   | Met deze gebeurtenis hoeft geen rekening gehouden te worden na de sluiting aangezien het dak en de trolley verwijderd worden.   | Ja                                      | Sneeuw, 0,50 kN/m <sup>2</sup> , zie [8], §2. Gedetailleerde informatie over de waarschijnlijkheid en de schaal van deze gebeurtenis wordt gegeven in bijlage 3 van [8].   | -   | De schaal van het referentiebelastinggeval moet niet gebaseerd zijn op de noodzaak om het radiologische risico tot een acceptabel niveau terug te brengen, aangezien een defect van het dak niet leidt tot onacceptabele radiologische gevolgen voor het publiek. Er wordt echter wel een referentiebelastinggeval voor sneeuw in aanmerking genomen voor de dakstructuur. De sneeuwbelasting wordt berekend in overeenstemming met NBN EN 1991-1-3: 2003 Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1.3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting en NBN EN 1991-1-3 ANB: 2007 Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1.3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting – Belgische Nationale Bijlage: "In België is de karakteristieke waarde s <sub>s</sub> (in kN/m <sup>2</sup> ) van de sneeuwbelasting op de grond in functie van de hoogte A (in m) als volgt bepaald (figuur 4.1 ANB): s <sub>s</sub> = 0,50 kN/m <sup>2</sup> voor A < 100 m" [8]. De opvolging van het sneeuwniveau en de verwijdering van sneeuw, indien nodig, zijn ook voorzien.   |  |                |
| 3   | Naaldijs  | -                 | -           | -                         | Traag proces buiten de scope van [1]  | -  | -   | -   | -   | -   | -                                       | -  | -   | -  | -  | -              |
| 4   | Wind, met inbegrip van tornado's, orkanen, cyclonen, stofstormen of zandstormen | Ja                | Ja          | Ja                        | -   | S1   | P2  | D   | Hoge windsnelheden of tornado's kunnen de stalen dakstructuur beschadigen. Dit kan ertoe leiden dat de modules vollopen met regen of dat de dakbedekking op de rolbrug of de monolieten terecht komt (zie gebeurtenis 2). Bij hevige winden en tornado's kunnen objecten die gecontroleerde zone binnendringen en kunnen grote objecten de installatie beschadigen, zie §13.5.9 van [13] en §7.2.1.1 van [2]. Er wordt geen ernstige schade aan de monolieten verwacht. Het vallen van de stalen dakstructuur of de rolbrug op de monolieten heeft geen/weinig gevolgen (radiologische impact <0,1 mSv [18]).   | Zie FEP 1.1.12 "Ongevallen en onvoorzien gebeurtenissen" (E4 "Wind en tornado's"). De effecten zijn meegenomen in AES3-1 en AES3-2. Berekende risico's voor AES3-1 en AES3-2 zijn 6,3E-7 / jaar en 6,6E-9 / jaar. Hieruit blijkt dat de risico's lager zijn dan 1E-6 / jaar, dewelke als referentiewaarde per scenario gehanteerd wordt.        | Ja (voor de sluiting)                   | Wind, pieksnelheidsdruk van 1,232 kN/m <sup>2</sup> (komt overeen met een terugkeerperiode van 100 jaar).<br><br>Tornado, 3,516 kN/m <sup>2</sup> .<br><br>Gedetailleerde informatie over de waarschijnlijkheid en de schaal van deze gebeurtenissen wordt gegeven in bijlage 3 van [8]. | -   | De schaal van het referentiebelastinggeval moet niet gebaseerd zijn op de noodzaak om het radiologische risico terug te brengen, aangezien er geen onacceptabele radiologische gevolgen voor het publiek verwacht worden. De windbelasting wordt berekend in overeenstemming met NBN EN 1991-1-4: 2005, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1.4: Algemene belastingen – Windbelasting en NBN EN 1991-1-4 ANB: 2009, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1.4: Algemene belastingen – Windbelasting – Belgische Nationale Bijlage, met een terugkeerperiode van 100 jaar. De windsnelheid voor een terugkeerperiode van 50 jaar wordt gegeven in de Eurocode en bedraagt 25 m/s voor de site in Dessel. Voor een terugkeerperiode van 100 jaar dient de basiswindsnelheid verhoogd te worden met 3,85% volgens EN 1991-1-4: 2005, d.w.z. 26 m/s, wat resulteert in een pieksnelheidsdruk van 1,232 kN/m <sup>2</sup> .<br><br>De schaal van het referentiebelastinggeval moet niet gebaseerd zijn op de noodzaak om het radiologische risico terug te brengen, aangezien er geen onacceptabele radiologische gevolgen voor het publiek verwacht worden. Er werd echter beslist om een referentietornado te definiëren met een pieksnelheid van 75 m/s. De overeenkomstige pieksnelheidsdruk is 3,516 kN/m <sup>2</sup> . De waarschijnlijkheid van blootstelling aan een dergelijke tornado ligt in de orde van grootte van 10 <sup>-7</sup> /a. |  |                |
| 5   | Bliksem   | Ja                | Ja          | Ja                        | -   | S1   | P1  | D   | De functionaliteit van elektrische installaties en apparaten, en dan met name de I&C-apparatuur, kan in het gedrang komen door blikseminslag. Om schade aan de elektrische circuits van de trolley te vermijden, zal er een bliksemafweersysteem geïnstalleerd worden.  | Niet van toepassing: alle I&C-apparatuur verbonden met de exploitatie van de site wordt bij de sluiting verwijderd. De tijdelijke onbeschikbaarheid van controleapparatuur is geen probleem voor de veiligheid aangezien de bergingsinstallatie zich in een volledig passieve staat bevindt.  | Nee                                     | -  | -   | -  |  |                |
| 6   | Extrem hoge of lage temperaturen  | Ja                | Ja          | Ja                        | -   | S1   | P4  | D   | Een temperatuurvariatie van een structuur (staal of beton) veroorzaakt krachten en verplaatsingen door thermische uitzetting. De lage en hoge temperatuurstremen zijn nodig om het maximale temperatuurverschil tussen betonnen en stalen structuren te berekenen. Het effect van de lage/hoge temperatuur wordt beperkt door de aanwezigheid van de geïsoleerde dakstructuur. Tijdens de bouw wordt schade aan het beton vermeden dankzij gepaste kwaliteitszorgprocedures (geen blootstelling van jong beton aan lage temperaturen). Dit potentiële probleem wordt behandeld in [12]. Tijdens de operationele periode kunnen uiterst lage temperaturen (<-20°C) barsten in het beton veroorzaken. Er wordt verwacht dat de potentiële schade aan beton op relatief lange termijn zal optreden. Het bevriezen van beton (monolieten/modules) wordt dus niet beschouwd als een externe gebeurtenis volgens [1], maar wordt behandeld als een degradatiemechanisme in [12]. Het bevriezen van het drainagestelsel (indien er water aanwezig is) kan leiden tot het barsten van de drainagebuizen. Het voorvallen van deze gebeurtenis wordt door het ontwerp vermeden. | Ze dient niet als een externe gebeurtenis beschouwd te worden ([1], traag proces) en het effect van de temperatuur op de aardeafdekking wordt behandeld in [12].  | Ja (voor de sluiting)                   | Temperatuurstremen: -20/+40°C. ΔT <sub>min</sub> /ΔT <sub>max</sub> 10/+10°C tussen de betonnen modules en de stalen structuren, [8] §5. Gedetailleerde informatie over de waarschijnlijkheid en de schaal van deze gebeurtenis wordt gegeven in bijlage 3 van [8].                      | -   | De schaal van het referentiebelastinggeval moet niet gebaseerd zijn op de noodzaak om het radiologische risico terug te brengen, aangezien deze gebeurtenis niet tot onacceptabele radiologische gevolgen voor het publiek leidt. De temperatuurbelasting wordt berekend in overeenstemming met NBN EN 1991-1-5: 2004, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1.5: Algemene belastingen – Thermische belasting en NBN EN 1991-1-5 ANB: 2009, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1.5: Algemene belastingen – Thermische belasting – Belgische Nationale Bijlage, met een terugkeerperiode van 100 jaar [8]. Voor een terugkeerperiode van 100 jaar is de minimum en de maximum buitentemperatuur (in de schaduw) respectievelijk:<br>T <sub>min</sub> = -20 °C<br>T <sub>max</sub> = +40 °C<br>Temperatuurverschillen van -10°C/+10°C tussen het beton en de stalen structuren worden gebruikt als belastinggeval [OD-167, OD-166]. Er kan een temperatuurverschil zijn in het gebouw, tussen de betonnen modules en de stalen structuren door het verschil in thermische inertie van beide materialen. Volgens bijlage 1 van [8] zou dit temperatuurverschil moeten variëren tussen -5°C en +5°C. Er werd beslist om het temperatuurverschil volgens bijlage 1 van [8] te verduubelen.   |  |                |
| 7   | Extrem vochtigheid, met inbegrip van mist en vorst en verdamping                | Ja                | Ja          | Ja                        | -   | S1   | P4  | D   | Het drainagestelsel werd ontworpen op basis van regen en de verwachte volumes condensatiewater zijn veel lager dan dit referentiegeval (zie bijlage 1 van [8]). Er worden geen onacceptabele operationele of langetermijneffecten verwacht (zie gebeurtenis 1). Desalniettemin wordt de dakstructuur geïsoleerd om de hoeveelheid condensatiewater te beperken [8].   | S1 P1 D   | -                                       | Geen impact op SSC's.  | Nee   | -  | -  |                |
| 8   | Droogte   | Ja                | Ja          | Ja                        | Het mogelijke gevolg is uitdroging, zie de overeenkomstige gebeurtenis 12 voor de beschrijving van de gevolgen voor het bergingssysteem.  | -  | -   | -   | -   | -   | -                                       | -  | -   | -  | -  | -              |
| 9   | Permafrost en cyclisch bevroren en dooien van de bodem                          | -                 | -           | -                         | Traag proces buiten de scope van [1]  | -  | -   | -   | -   | -   | -                                       | -  | -   | -  | -  | -              |
| 10  | Barometrische druk  | Ja                | Ja          | Nee                       | Er wordt geen impact verwacht op de bergingsinstallatie aangezien in de volledige installatie atmosferische druk heerst en deze niet beïnvloed wordt door veranderingen in de atmosferische druk. | -  | -   | -   | -   | -   | -                                       | -  | -   | -  | -  | -              |
| 11  | Rechtstreekse zonnestraling   | Ja                | Ja          | Ja                        | -   | S1   | P4  | D   | Geen gevolgen.  | -   | -                                       | -  | Geen gevolgen.  | Nee  | -  | -              |
| 12  | Uitdroging  | Ja                | Ja          | Ja                        | -   | S1   | P4  | D   | Betonkrimp door uitdroging valt buiten de scope van [1] en wordt behandeld als een potentieel degradatiemechanisme in [12].   | S1 P4 D   | -                                       | Uitdroging kan de aardeafdekking beschadigen. Ze dient niet als een externe gebeurtenis beschouwd te worden ([1], traag proces) en wordt behandeld als een degradatiemechanisme in [12].   | Nee   | -  | -  |                |
| 13  | Vorst/dool  | Ja                | Ja          | Ja                        | -   | S1   | P4  | D   | Door vorst/dool kunnen er barsten ontstaan in beton. Deze gebeurtenis valt buiten de scope van [1] en wordt behandeld als een degradatiemechanisme in [12].   | S1 P4 D   | -                                       | Door vorst/dool kan de aardeafdekking beschadigd raken. Dit dient niet als een externe gebeurtenis beschouwd te worden ([1], traag proces) en wordt behandeld als een degradatiemechanisme in [12].  | Nee   | -  | -  |                |

|   |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
|---|--|-----|-----|-----|---|----|----|---|---|--|-----------------------------|--|---|--|
| 14  | Klimaatverandering   | -   | -   | -   | Traag proces buiten de scope van [1]  | -  | -  | - | Traag proces buiten de scope van [1]  | Zie FEP 1.3.03 "Climate change, regional and local". De effecten zijn meegenomen in AES3-1 en AES3-2. Berekende risico's voor AES3-1 en AES3-2 zijn 6,3E-7 / jaar en 6,6E-9 / jaar. Hieruit blijkt dat de risico's lager zijn dan 1E-6 / jaar, dewelke als referentiewaarde per scenario gehanteerd wordt. | Nee                         | -  | -   |  |
| 15  | Overstromingen   | Ja  | Nee | -   | De resultaten van [6] tonen aan dat de overstromingsfrequentie van de site lager is dan 1E-7 per jaar. Een waarschijnlijkheid van 1E-7 per jaar komt overeen met een overstromingsniveau van 24,75 m.   | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| <b>Hydrologie</b>                                       |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
| 16  | Oppervlaktewaterlichamen en stromingen   | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 17  | Runoff aan oppervlak   | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 18  | Grondwatercondities  | Ja  | Ja  | Nee | Er wordt een capillaire barrière (i.e. een grindlaag) aangebracht in de funderingen om contact tussen het afval en het opstijgende water te vermijden.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 19  | Golfwerking  | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 20  | Fluctuaties in de grondwaterspiegel  | Ja  | Ja  | Ja  | -   | -  | -  | - | Zettingen worden beschouwd als ontwerpinput (cf. D125) en ontwerpvereiste (DR25.c).   | Zie effectenbeschrijving voor FEP 2.2.06.04 "Zettingen". Er wordt geen beduidend effect op de installatie verwacht en daarom is deze FEP niet initiërend.  | -                           | -  | -   |  |
| 21  | Hydrothermale activiteit   | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 22  | Hydrologische/hydrogeologische reactie op ecologische veranderingen  | -   | -   | -   | Traag proces buiten de scope van [1]  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 23  | Inspijeling/infiltratiewater   | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 24  | Veranderingen in het zeeniveau   | -   | -   | -   | Traag proces buiten de scope van [1]  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| <b>Geologie</b>   |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
| 25  | Geotechnische gebeurtenissen   | Ja  | Ja  | Ja  | -   | S1 | P1 | D | De stabiliteit van het funderingsmateriaal werd beschouwd bij het ontwerp: de draagkracht van het terrein wordt gecontroleerd [3] en geschikte eigenschappen en verdichting van de geïnstalleerde materialen worden opgelegd. Liquefactie van de bodem wordt veroorzaakt door groundbeweging afhankelijk van het potentieel voor liquefactie van de materialen van de ondergrond van de voorgestelde site en van de intensiteit van de grondvibratie. De liquefactie-studie toont aan dat de algehele structurele integriteit onaangestast blijft [11].   | FEP 2.1.07.03 Subsidence/collapse is niet initiërend voor het aspect zettingen (FEP 2.2.06.04 Settlements) omdat er voor zettingen geen beduidend effect op de installatie verwacht wordt.   | Nee                         | -  | -   |  |
| 26  | Orogenese en aanverwante tektonische processen aan de platerenzen  | -   | -   | -   | Traag proces buiten de scope van [1]  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 27  | Niet-orogeenetische processen en tektonische processen binnen de plaat   | -   | -   | -   | Traag proces buiten de scope van [1]  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 28  | Metamorfose  | -   | -   | -   | Traag proces buiten de scope van [1]  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 29  | Diagenese en pedogenese  | -   | -   | -   | Traag proces buiten de scope van [1]  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 30  | Zoutdiapirisme en oplossing  | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 31  | Vulkanische en magmatische activiteit  | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 32  | Oppervlakte-erosie en depositie  | Ja  | Ja  | Ja  | -   | -  | -  | - | Niet van toepassing.  | Zie FEP 2.3.07 "Erosie en depositie". De effecten zijn meegenomen in AES3-1 en AES3-2. Berekende risico's voor AES3-1 en AES3-2 zijn 6,3E-7 / jaar en 6,6E-9 / jaar. Hieruit blijkt dat de risico's lager zijn dan 1E-6 / jaar, dewelke als referentiewaarde per scenario gehanteerd wordt.                | -                           | -  | -   |  |
| <b>Natuurlijke branden</b>                              |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
| 33  | Natuurlijke branden  | Ja  | Ja  | Ja  | -   | -  | -  | - | SSC's blootgesteld aan overmatige warmtefluxen kunnen schade oplopen. Natuurlijke branden werden in detail bestudeerd in [10] en er worden geen gevolgen verwacht op voorwaarde dat er zich geen bomen op minder dan 27 m van de bergingsinstallatie bevinden.  | Zie FEP 1.1.12 "Ongevallen en onvoorzien gebeurtenissen" EE40 'Fire'. Er wordt geen beduidend effect verwacht, en daarom is het deel 'brand' van deze FEP niet initiërend.   | Ja (voor de sluiting)       | Maximale warmteflux ten gevolge van (natuurlijke) branden: 15 kW/m². | Natuurlijke branden werden in detail bestudeerd in [10] en er worden geen gevolgen verwacht op voorwaarde dat er zich geen bomen op minder dan 27 m van de bergingsinstallatie bevinden. Dit laatste is een in het ontwerp genomen maatregel die garandeert dat de vereiste van een maximale thermische straling van 15 kW/m² gerespecteerd wordt (zie §4.2.1 van [10]).                        |  |
| <b>Buitenaardse gebeurtenissen</b>                      |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
| 34  | Meteorietinslag  | Ja  | Nee | -   | Waarschijnlijkheid < 1E-7 per jaar  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 35  | Elektromagnetische interferentie (zonneuitbarsting)  | Ja  | Ja  | Ja  | -   | S1 | P1 | D | Slecht werkende I&C-apparatuur gebruikt tijdens de operationele periode, zonder radiologische gevolgen. Door I&C-apparatuur te gebruiken met een EMC-kwalificatie (elektromagnetische compatibiliteit) zal elektromagnetische interferentie geen storingen meer veroorzaken [14].   | -  | -                           | -  | Met deze gebeurtenis hoeft geen rekening gehouden te worden aangezien I&C-apparatuur verwijderd wordt na sluiting. De tijdelijke onbeschikbaarheid van controleapparatuur is geen probleem voor de veiligheid aangezien de bergingsinstallatie zich in een volledig passieve staat bevindt.   |  |
| <b>Andere gebeurtenissen van natuurlijke oorsprong</b>  |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
| 36  | Natuurlijke explosies  | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 37  | Impact van land- en waterplanten en -dieren (ecologische successie, vegetatie, knaagdieren, vogels en andere dieren in het wild) | Ja  | Ja  | Ja  | -   | S1 | P4 | D | Uitwerpselen van vogels: Er wordt geen impact verwacht aangezien de monolieten beschermd zijn door afschermingsplaten en de bovenkant van de stalen dakstructuur beschermd is door een membraan (bv. EPDM). Bovendien worden er regelmatige inspecties uitgevoerd van de bovenkant van de stalen dakstructuur.  | FEP 2.3.08 "Intrusie van dieren/planten" is niet initiërend. Biointrusie wordt uitgesloten door het ontwerp (anti-intrusiebarrière). In gedegradeerde condities zal intrusie van dieren/planten niet leiden tot verdere effecten dan het fenomeen dat de degradatie veroorzaakt.                           | Ja (voor en na de sluiting) | Niet van toepassing  | Een anti-intrusiebarrière werd geïnstalleerd om dergelijke schade te beperken.  |  |
| 38  | Methaangas of natuurlijk toxisch gas   | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| <b>Externe door de mens veroorzaakte gebeurtenissen</b> |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
| <b>Industrieel, militair of transportgerelateerd</b>    |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
| 39  | Explosie   | Ja  | Ja  | Nee | Het radiologische risico, operationele en post-operationele gevolgen van deze gebeurtenis werden geëvalueerd in de studie van het risico op ontploffing en brand [4]. Er worden geen radiologische gevolgen of impact op de operationele of langetermijnveiligheidsfuncties verwacht: de enige gebeurtenis die een impact zou kunnen hebben op het bergingsstelsel (overdruk > 15 mbar) is de ontploffing van een LPG-schip op het kanaal, maar deze specifieke gebeurtenis heeft een waarschijnlijkheid van < 1E-7/jaar [4]. | -  | -  | - | -   | Zie FEP 1.4.14 "Ontploffingen". De effecten zijn meegenomen in AES3-1 en AES3-2. Berekende risico's voor AES3-1 en AES3-2 zijn 6,3E-7 / jaar en 6,6E-9 / jaar. Hieruit blijkt dat de risico's lager zijn dan 1E-6 / jaar, dewelke als referentiewaarde per scenario gehanteerd wordt.                      | -                           | -  | -   |  |
| 40  | Brand  | Ja  | Ja  | Nee | Het radiologische risico, operationele en post-operationele gevolgen van deze gebeurtenis werden geëvalueerd in de studie van het risico op ontploffing en brand [4]. Er worden geen radiologische gevolgen of impact op operationele of langetermijnveiligheidsfuncties verwacht: geen van de gebeurtenissen vermeld in [4] kan leiden tot een warmteflux > 10 kW/m² (blootstellingstijd > 30 minuten) op de locatie van het bergingsstelsel. De toelaatbare limiet is 15 kW/m², zie gebeurtenis 33.                         | -  | -  | - | -   | Zie FEP 1.1.12 "Ongevallen en onvoorzien gebeurtenissen" EE40 'Fire'. Er wordt geen beduidend effect verwacht, en daarom is het deel 'brand' van deze FEP niet initiërend.   | -                           | -  | -   |  |
| 41  | Vliegtuigcrash   | Ja  | Ja  | Ja  | De waarschijnlijkheid van vliegtuigongelukken werd geëvalueerd in [16]. Enkel ongelukken met een eenmotorig vliegtuig (Cessna 210), een F-16 vliegtuig of een R-44 helikopter hebben een waarschijnlijkheid die hoger ligt dan 10-7/jaar: - Cessna 210: 1,17 E-6/jaar, - R-44: 7,33 E-6/jaar, - F-16: 2,11 E-7/jaar.  | S2 | P1 | D | Vernietiging van monolieten. De crash van een F-16 is de omhullende situatie (hogere kinetische energie bij botsing). De maximale radiologische impact is < 1 mSv [15].   | Zie FEP 1.4.14.01 "Vliegtuig val". De effecten zijn meegenomen in AES2-1 en AES2-2. Berekende risico's voor AES2-1 en AES2-2 zijn 6,4E-9 / jaar en 1,6E-8 / jaar. Hieruit blijkt dat de risico's lager zijn dan 1E-6 / jaar, dewelke als referentiewaarde per scenario gehanteerd wordt.                   | Nee                         | -  | -   |  |
| 42  | Projectiel ten gevolge van structurele of mechanische storing in nabij gelegen installaties                                      | Ja  | Nee | -   | Waarschijnlijkheid < 10-7 per jaar  | -  | -  | - | -   | Zie FEP 1.1.12 "Ongevallen en onvoorzien gebeurtenissen", aspect EE42 'Missile due to structural or mechanical failure in nearby installations'. Er wordt geen beduidende impact verwacht en daarvoor wordt de FEP niet initiërend voor dat aspect.  | Nee                         | -  | -   |  |
| 43  | De vrijgave van corrosieve, toxische en/of radioactieve stoffen  | Ja  | Ja  | Nee | Geen impact op SSC's. Operatoren kunnen verwondingen oplopen.   | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 44  | Grondtrillingen  | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| <b>Stroomvoorziening</b>                                |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
| 45  | Stroomonderbrekingen   | Ja  | Ja  | Ja  | -   | S1 | P3 | D | Geen impact op operationele of langetermijnveiligheidsfuncties: de activiteiten worden stopgezet en de rolbrug is een SFP-rolbrug. Exploitatieprocedures zullen aangeven dat de exploitatie bij het wegvallen van nutsvoorzieningen moet worden stilgelegd. In dergelijk geval ontstaan dan ook geen problemen tijdens de exploitatieperiode van de installatie. Ook is er in noodstroom voorzien voor specifieke toestellen voor monitoring, verlichting, alarmen en toegangskontrolle [14]. Er zijn werktuigen beschikbaar om een monoliet die tijdens de gebeurtenis met een kraan bewogen wordt veilig terug in de transportcontainer of in een module te plaatsen. | -  | -                           | -  | Geen rechtstreekse gevolgen voor de SSC's (passieve veiligheid). Een onrechtstreeks gevolg zou menselijke indringing tijdens de nucleaire reglementaire controleperiode kunnen zijn, wat buiten de scope van [1] valt. De tijdelijke onbeschikbaarheid van controleapparatuur is geen probleem voor de veiligheid aangezien de bergingsinstallatie zich in een volledig passieve staat bevindt. |  |
| <b>Andere gebeurtenissen van menselijke oorsprong</b>   |  |     |     |     |   |    |    |   |   |  |                             |  |   |  |
| 46  | Grondverzakking of instorting ten gevolge van ondertunneling of mijnbouw   | Ja  | -   | Nee | Deze gebeurtenis wordt tijdens de operationele periode voorkomen door de voorziene actieve maatregelen (toegangskontrolle en institutionele controles) [2].   | -  | -  | - | -   | Zie effectbeschrijving van FEP 2.2.06.04 "Zettingen". Er wordt geen beduidend effect verwacht en daarom is deze FEP niet initiërend.   | -                           | -  | -   |  |
| 47  | Structureel defect van een dam   | Nee | -   | -   | Niet van toepassing in Dessel.  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |
| 48  | Blokkering van een rivier  | Nee | -   | -   | Effect beperkt tot geosfeer/biosfeer  | -  | -  | - | -   | -  | -                           | -  | -   |  |

|    |   |     |    |     |   |    |    |   |  |   |     |   |   |   |    |                       |  |   |   |
|----|---|-----|----|-----|---|----|----|---|--|---|-----|---|---|---|----|-----------------------|--|---|---|
| 49 | Veranderingen in het kanaal, werken in het kanaal | Ja  | -  | Ja  | - | -  | -  | - | Deze gebeurtenis wordt voorkomen door de voorziene actieve maatregelen (toegangscontrole en institutionele controles) [14]. Er werd aangetoond dat een dijkbreek van het kanaal geen impact heeft op de installatie in de studie van overstromingen [6].   | -   | -   | - | - | De gevolgen van een dijkbreek maken deel uit van de analyse uitgevoerd voor de operationele periode.  | Ja | Dijkbreek, 25,2 mTAW. | Een dijkbreek van het kanaal wordt geëvalueerd in de studie van overstromingen [6] en is een referentiegebeurtenis waartegen de installatie beschermd moet worden. De monolieten zullen zich een stuk boven dit niveau bevinden en bovendien zal het laagste toegangspunt van de bergingsinstallatie (toegang tot de inspectiegalerij) zich boven het maximale overstromingsniveau bevinden: 25,2 mTAW, zie [6]. |   |   |
| 50 | Stakingen en blokkades                            | Ja  | Ja | Nee | - | -  | -  | - | Er wordt niet verwacht dat stakingen en blokkades tot onacceptabele radiologische gevolgen zullen leiden of een impact zullen hebben op de operationele of langetermijnveiligheidsfuncties: de exploitatie kan stopgezet worden. Een onrechtstreeks gevolg zou menselijke indringing tijdens de nucleaire reglementaire controleperiode kunnen zijn. Een dergelijke gebeurtenis valt buiten de scope van [1].  | -   | -   | - | - | -   | -  | -                     | -  |   |   |
| 51 | Gezondheidsproblemen                              | Ja  | Ja | Nee | - | -  | -  | - | Er wordt niet verwacht dat gezondheidsproblemen tot onacceptabele radiologische gevolgen zullen leiden of een impact zullen hebben op de operationele of langetermijnveiligheidsfuncties: de exploitatie kan stopgezet worden. Een onrechtstreeks gevolg zou menselijke indringing tijdens de nucleaire reglementaire controleperiode kunnen zijn. Een dergelijke gebeurtenis valt buiten de scope van [1].  | -   | -   | - | - | -   | -  | -                     | -  |   |   |
| 52 | Grondwaterwinning                                 | Ja  | Ja | Ja  | - | -  | -  | - | Deze gebeurtenis wordt tijdens de operationele periode voorkomen door de voorziene actieve maatregelen (toegangscontrole en institutionele controles) [2].   | Zie FEP 2.2.06.04 "Zettingen". Er wordt geen beduidende impact verwacht + effect beperkt tot geosfeer/biosfeer. | Nee | - | - | -   | -  | -                     | -  |   |   |
| 53 | Elektromagnetische interferentie                  | Ja  | Ja | Ja  | - | S1 | P2 | D | Elektromagnetische interferentie kan de functionaliteit van elektronische apparatuur beïnvloeden, met een eventuele storing in of schade aan de tijdens de operationele periode gebruikte instrumenten en bedieningsapparaten als gevolg. Dergelijke interferenties kunnen veroorzaakt worden door oorzaken die buiten de site liggen, zoals radio-interferentie en het telefoonnetwerk. Door I&C-apparatuur te gebruiken met een EMC-kwalificatie (elektromagnetische compatibiliteit) zal elektromagnetische interferentie geen storingen meer veroorzaken. Functioneel veroorzaakt bovendien een operationele stop [14]. Een onrechtstreeks gevolg zou menselijke indringing tijdens de nucleaire reglementaire controleperiode kunnen zijn. Een dergelijke gebeurtenis valt buiten de scope van [1]. | -   | -   | - | - | Geen gevolgen (passieve veiligheid). Een onrechtstreeks gevolg zou menselijke indringing tijdens de nucleaire reglementaire controleperiode kunnen zijn. Een dergelijke gebeurtenis valt buiten de scope van [1]. | -  | -                     | -  | - | - |
| 54 | Ondergronds testen van nucleaire toestellen       | Nee | -  | -   | - | -  | -  | - | Niet van toepassing in Dessel.   | -   | -   | - | - | -   | -  | -                     | -  |   |   |

[1] De impact van externe gebeurtenissen tijdens de operationele periode zal groter zijn tijdens fase Ia (hogere bronterm, behandeling van de monolieten, geen aardeafdekking,...) dan tijdens fases Ib en II. Tenzij anders aangegeven en om de bespreking te vereenvoudigen, zal fase Ia beschouwd worden als de representatieve fase voor de operationele veiligheid (conservatieve benadering).

[2] In deze tabel wordt geen onderscheid gemaakt tussen de institutionele periode en de post-institutionele periode. De verschillen zijn bewaking, monitoring en de mogelijkheid om beschadigde SSC's te herstellen.

[3] De schaal van ernst werd aangepast met betrekking tot [2]. De S1 Dosis is <0,1 mSv/jaar en de S2 Dosis is 0,1-10 mSv/jaar. De conclusies van de evaluatie in [2] blijven geldig, behalve wat betreft de impact van een vliegtuigongeluk. Deze laatste werd opnieuw geëvalueerd in het kader van de stresstesten, zie gebeurtenis 41.

[4] Voor gebeurtenissen die gedekt worden door een FEP wordt een beschrijving van het effect en de impact (en de toelaatbaarheid ervan) gegeven in het kader van Fiche 13.

| Ernst                     | Waarschijnlijkheid  | Risico                            |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| S4 Dosis: >250 mSv/jaar   | P4 1-10-2 jaar-1    | A Niet acceptabel                 |
| S3 Dosis: 10-250 mSv/jaar | P3 10-2-10-4 jaar-1 | B Niet acceptabel - Optimaliseren |
| S2 Dosis: 0,1-10 mSv/jaar | P2 10-4-10-6 jaar-1 | C Optimaliseren                   |
| S1 Dosis: <0,1 mSv/jaar   | P1 10-6-10-7 jaar-1 | D Acceptabel                      |

[1] FANC Nota 008-241-N, herz. 2, Leidraad over de beschouwing van gebeurtenissen met een externe oorsprong bij het ontwerp van de bergingsinstallatie, 07-06-2010.

[2] NIROND-TR 2011-70 v1, List of selected events of internal and external origin, 30-01-2012.

[3] [OD-120] Settlements of the disposal structures during the construction and operational phases based on 3D modeling, NIROND-TR 2011-39E V2, april 2011.

[4] NIRAS, Evaluatie van het explosie- en brandrisico afkomstig van het gebruik en transport van gevaarlijke stoffen in de omgeving, NIROND-TR-2010-23 N V1 (29/04/2010)

[5] [OD-21]FEP Management, NIROND-TR 2009-01E Versie 1, 28 november 2012.

[6] [OD-084] NIRAS, Inschatting van het overstromingsrisico ter hoogte van de noordelijke nucleaire site te Mol-Dessel, NIROND-TR 2011-26 N Versie 1, maart 2011.

[7] [OD-166]Detailed Design Modules, NIROND-TR 2011-55E Versie 1, 2 november 2011.

[8] [OD-233] NIRAS, Climatic Design Loads, NIROND-TR 2011-82 E V1 (08/11/2011)

[9] [OD-77]Long-term climate change and effects on disposal facility, geosphere and biosphere, NIRONDTR2009-07 E Versie 1, oktober 2011.

[10] VNS-TR-13-014 Rev. 1, Forest fire risk assessment, 2013.

[11] [OD-179] Liquefaction analysis & settlements due to earthquakes, NIROND-TR 2011-23 E Versie 1, 23 november 2011.

[12] NIRAS, Hoofdstuk 5: Kennis van de fenomenologie van de kunstmatige barrières in hun omgeving – Technische basis van het veiligheidsrapport voor oppervlakteberging van categorie A afval te Dessel, NIRONDTR2011-05 N Versie 2, 2012.

[13] NIRAS, Hoofdstuk 13: Veiligheidsvaluatie – operationele veiligheid – Technische basis van het veiligheidsrapport voor oppervlakteberging van categorie A afval te Dessel, NIROND-TR 2011-13 N Versie 1.

[14] [OD-165] Detail Design Layout, NIROND-TR 2011-60E V1 6 november 2012.

[15] VNS-TR-15-33, Bepaling van de dosisiïmpact tengevolge van de val van een luchtvaartuig op de bergingsite cAT, 2015.

[16] [OD-97] Bepaling van de probabiliteit van vliegtuigval op de opslaggebouwen voor oppervlakteberging van radioactief categorie A afval te Dessel, TIERSDI/ANT/0006164/002/01.

[17] [OD-167] Detailed design steel structure NIROND-TR 2011-61 E 31, januari 2012.

[18] VNS-TR-16-10, Radiological impact of the roof or bridge crane collapse during the operational phase of the Category A waste repository at Dessel, 2016.

[19] Samuel Glasstone en Philip J. Dolan, The Effects of Nuclear Weapons 3rd edition, Chapter V "Structural Damage from Air Blast", United States Department of Defense, 1977.

[20] Tractebel Engineering. Toepassing van NUREG 1623 (Design of Erosion Protection for Long-Term Stabilization) op de bio-intrusie barrière en de biologische laag van de afdekking. Interne Nota MD-07-E-02.



NIRAS

Nationale instelling voor radioactief afval  
en verrijkte splijtstoffen

Kunstlaan 14

BE-1210 Brussels

Tel. + 32 2 212 10 11

Fax +32 2 218 51 65

[www.nirond.be](http://www.nirond.be)