

# 7

Hoofdstuk 7

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

## Ontwerp en constructie van de bergingscolli





## Hoofdstuk 7






### Ontwerp en constructie van de bergingscolli

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

Versie 1 van dit rapport werd opgesteld door H. Van Humbeeck (NIRAS). Het werd nagekeken door W. Cool, E. Coppens, Ch. Cosemans, G. Van Zaelen en W. Bastiaens (NIRAS). Het werd goedgekeurd door R. Bosselaers (NIRAS).

Versie 2 van dit rapport werd opgesteld door H. Van Humbeeck (NIRAS), nagekeken door W. Bastiaens (NIRAS) en goedgekeurd door R. Bosselaers (NIRAS).

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

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

**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.*

Revisietabel																																						
Versie		Opmerkingen																																				
Nummer	Datum																																					
1	30/09/2011	Initiële versie voor <i>Peer Review</i> en overgemaakt aan 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 voornamelijk 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>																																				
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 7</th> <th>Aangepaste § in HS07</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HS05-004</td> <td>Corrosie van de hijsogen van de monolieten</td> <td>Verwijzing opgenomen naar argumentatie dat corrosie van de hijsankers de caisson niet beschadigt</td> <td>§7.4.2.1 DR15.b</td> </tr> <tr> <td>HS07-001</td> <td>Afleiden van de conformiteitscriteria</td> <td>Zie HS02-006, HS07-003, HS07-005, HS08-001, Fiche 10, Fiche 11.</td> <td>IDEM</td> </tr> <tr> <td>HS07-002</td> <td>Geheel van de conformiteitscriteria</td> <td>Verwijzen naar HS15 voor het geheel van de conformiteitscriteria</td> <td>§7.1, §7.2, §7.4.2, §7.5.3</td> </tr> <tr> <td>HS07-003</td> <td>Aantoonbaarheidsprincipe</td> <td>Status testprogramma beter beschrijven</td> <td>§7.5.4</td> </tr> <tr> <td>HS07-004</td> <td>QA/QC-programma</td> <td>Opnemen verwijzing naar QC op conformiteitscriteria + vermelden dat gedetailleerde procedures later zullen opgemaakt worden</td> <td>§7.5.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Verwijzen naar een beschrijving van de afbakening van de verantwoordelijkheden tussen NISD en Belgoproces</td> <td>§7.5.2.3</td> </tr> <tr> <td>HS07-005</td> <td>Afwijkingen bij de constructie</td> <td>Opnemen verwijzing naar algemene aanpak van niet-conforme items + identificatie van mogelijk niet-geïdentificeerde afwijkingen</td> <td>§7.5.5</td> </tr> <tr> <td>HS07-006</td> <td>Optimalisering van de bescherming</td> <td>Opnemen hoofdlijnen van de uitgevoerde optimaliseringsoefening wat betreft de bergingscolli + verwijzing opnemen naar [OD-279]</td> <td>§7.4.3</td> </tr> </tbody> </table>	Vraag nr.	Titel	Nodige aanpassingen aan veiligheidsrapport hoofdstuk 7	Aangepaste § in HS07	HS05-004	Corrosie van de hijsogen van de monolieten	Verwijzing opgenomen naar argumentatie dat corrosie van de hijsankers de caisson niet beschadigt	§7.4.2.1 DR15.b	HS07-001	Afleiden van de conformiteitscriteria	Zie HS02-006, HS07-003, HS07-005, HS08-001, Fiche 10, Fiche 11.	IDEM	HS07-002	Geheel van de conformiteitscriteria	Verwijzen naar HS15 voor het geheel van de conformiteitscriteria	§7.1, §7.2, §7.4.2, §7.5.3	HS07-003	Aantoonbaarheidsprincipe	Status testprogramma beter beschrijven	§7.5.4	HS07-004	QA/QC-programma	Opnemen verwijzing naar QC op conformiteitscriteria + vermelden dat gedetailleerde procedures later zullen opgemaakt worden	§7.5.3			Verwijzen naar een beschrijving van de afbakening van de verantwoordelijkheden tussen NISD en Belgoproces	§7.5.2.3	HS07-005	Afwijkingen bij de constructie	Opnemen verwijzing naar algemene aanpak van niet-conforme items + identificatie van mogelijk niet-geïdentificeerde afwijkingen	§7.5.5	HS07-006	Optimalisering van de bescherming	Opnemen hoofdlijnen van de uitgevoerde optimaliseringsoefening wat betreft de bergingscolli + verwijzing opnemen naar [OD-279]	§7.4.3
Vraag nr.	Titel	Nodige aanpassingen aan veiligheidsrapport hoofdstuk 7	Aangepaste § in HS07																																			
HS05-004	Corrosie van de hijsogen van de monolieten	Verwijzing opgenomen naar argumentatie dat corrosie van de hijsankers de caisson niet beschadigt	§7.4.2.1 DR15.b																																			
HS07-001	Afleiden van de conformiteitscriteria	Zie HS02-006, HS07-003, HS07-005, HS08-001, Fiche 10, Fiche 11.	IDEM																																			
HS07-002	Geheel van de conformiteitscriteria	Verwijzen naar HS15 voor het geheel van de conformiteitscriteria	§7.1, §7.2, §7.4.2, §7.5.3																																			
HS07-003	Aantoonbaarheidsprincipe	Status testprogramma beter beschrijven	§7.5.4																																			
HS07-004	QA/QC-programma	Opnemen verwijzing naar QC op conformiteitscriteria + vermelden dat gedetailleerde procedures later zullen opgemaakt worden	§7.5.3																																			
		Verwijzen naar een beschrijving van de afbakening van de verantwoordelijkheden tussen NISD en Belgoproces	§7.5.2.3																																			
HS07-005	Afwijkingen bij de constructie	Opnemen verwijzing naar algemene aanpak van niet-conforme items + identificatie van mogelijk niet-geïdentificeerde afwijkingen	§7.5.5																																			
HS07-006	Optimalisering van de bescherming	Opnemen hoofdlijnen van de uitgevoerde optimaliseringsoefening wat betreft de bergingscolli + verwijzing opnemen naar [OD-279]	§7.4.3																																			

Hoofdstuk 7: Ontwerp en constructie van de bergingscolli

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

voor de details			
HS07-007	Samenstelling van de vulmortel	<p>Toevoeging verwijzing naar referentiesamenstelling van de mortel</p> <p>Beschrijven testen indien kwartszand zou gebruikt worden in de mortel</p> <p>Verwijzing toevoegen naar toleranties op de mortelsamenstelling</p>	<p>§7.3.4</p> <p>§7.4.2.1 DR9.b</p> <p>§7.4.2.1 DR5.a</p>
HS07-008	Behoud van de prestatie op lange termijn	<p>De vereiste staalkwaliteit (42CrMo4) vermelden</p> <p>Impact van de corrosie van het gekozen materiaal bespreken</p>	<p>§7.3.2.1</p> <p>§7.4.2.1 DR15.b</p>
HS07-009	A posteriori gecontroleerde belastingsgevallen	Verduidelijken a posteriori gecontroleerde belastingsgevallen	§7.4.2.2
HS07-010	Betonsamenstelling van de verschillende betonnen componenten	<p>Toevoeging verwijzing naar referentiesamenstelling van beton</p> <p>Toevoeging verwijzing naar referentiesamenstelling van de mortel</p> <p>Vermelden sensitiviteitsstudie op beton</p>	<p>§7.3.3</p> <p>§7.3.4</p> <p>§7.4.2.1 DR5.a</p>
HS07-011	Constructieprocedures van de monolieten	Verwijzing opnemen i.v.m. erkenningen	§7.5.1, §7.5.2.3
HS07-012	Technische voorschriften positionering	Toevoegen technische voorschriften positionering	§7.5.2.2
HS07-013	Specifieke ontwerpen	Verduidelijken dat er nu geen andere monoliettypen voorzien zijn behalve type I, II en III	§7.3.5
HS07-014	Seismische kwalificatie	Verwijzing opnemen i.v.m. seismische kwalificatie	§7.4.2.1 DR12.a, §7.4.2.2
HS07-015	IP2 Kwalificatie van de monolieten	Verwijderen van de vermelding dat de monoliet gekwalificeerd is als IP-2 verpakking	Doorheen het HS
HS08-001	Non-conformiteiten en bouwfouten	Zie HS07-005	IDEM
HS08-005 deelvraag 4	Tolerantie op de maten van de monoliet en het opvullen en stapelen	Toegestane geometrische afwijking en vereiste vlakheid opgenomen.	§7.4.2.2
HS08-016	Geheel van conformiteitscriteria	Opnemen argumentatie rond conformiteitscriteria voor monolieten	§7.4.2
HS15-002	Coherentie tussen hoofdstukken 15 en 7 & 8	Afleiden van mechanische en fysische conformiteitscriteria van de opvulmortel, de caisson (waaronder hijsogen) en de monolieten in hun geheel	§7.4.2
HS15-015	Transport	Zie HS07-015	IDEM
Fiche 10	Optimalisering	Verwijzing naar optimaliseringsoefening opgenomen. Resulterende R&D vermelden (onderzoeken)	§7.4.3

Hoofdstuk 7: Ontwerp en constructie van de bergingscolli

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel

		vezelversterkt beton voor caissons).	
Fiche 11	Ontwerpinputs en ontwerpvereisten	Verwijzing naar afleiding van ontwerpinputs en –vereisten	§7.2, §7.4.2
		Oplijsting van ontwerpvereisten.	§7.2
		Afleiding van conformiteitscriteria en bijhorende QC.	§7.4.2
		Verwijzing naar oplijsting van conformiteitscriteria en QC	§7.1, §7.2, §7.4.2
<b>Overige wijzigingen:</b>			
§7.3.1: Tabel met aantal colli en monolieten verwijderd + verwijzing hiervoor opgenomen naar HS06.			
§7.3.1: Voor de maximale massa's van type I en type II wordt naast de verwachte maximale massa (op basis van bestaande colli GA) ook een maximaal toegelaten massa beschreven.			
§7.3.27.5.1.3: de wijze waarop het wapeningsnet onderaan het deksel (anti-opdrijfsysteem) gerealiseerd wordt werd aangepast (gebruik van ankerpennen).			
§7.4.2.2: Ontwerpberekeningen caisson/monoliet uitgebreider beschreven.			
§7.5.1: Toegevoegd dat NISD uitbater wordt van de caissonfabriek			
Heel HS07: terminologie: gebruik 'opvulmortel' of 'mortel' in plaats van 'immobilisatiemortel' of 'immobilisatiematrix' als het gaat over de mortel die in de caissons/monolieten geïnjecteerd wordt.			
Detailontwerp van de caissons werd afgestemd op de praktische maakbaarheid (cf. ontwerp mallen/caissonfabriek). De detailplannen (zie §7.3.2.1) werden overeenkomstig aangepast.			

## Inhoudsopgave

7	Ontwerp en constructie van de bergingscolli	7-1
<b>7.1</b>	<b>Inleiding en doelstellingen</b>	<b>7-1</b>
<b>7.2</b>	<b>Veiligheidsfuncties en andere functies</b>	<b>7-2</b>
<b>7.3</b>	<b>Beschrijving van de bergingscolli</b>	<b>7-3</b>
7.3.1	Types monolieten	7-3
7.3.2	Algemene beschrijving van de belangrijkste onderdelen van de monolieten	7-5
7.3.2.1	Caissons type I, II en III	7-5
7.3.2.2	Specifiek ontwerp van caissons type III	7-6
7.3.3	Het beton	7-7
7.3.4	De opvulmortel	7-8
7.3.5	Specifiek ontwerp	7-8
<b>7.4</b>	<b>Ontwerp</b>	<b>7-9</b>
7.4.1	Ontwerp en constructieregels	7-9
7.4.2	Ontwerpbasis	7-9
7.4.2.1	Ontwerpvereisten	7-10
7.4.2.2	Ontwerpberekeningen	7-18
7.4.3	Optimalisering van de bescherming	7-23
<b>7.5</b>	<b>Productie van de bergingscolli</b>	<b>7-24</b>
7.5.1	Fabricage van caissons	7-24
7.5.1.1	Productiesnelheid	7-24
7.5.1.2	Productie-eenheid en uitrusting	7-24
7.5.1.3	Fabricageproces van de caissons en deksels	7-24
7.5.1.4	Opslag en uithardingsvoorwaarden gedurende 28 dagen	7-25
7.5.1.5	Opslag van zand en aggregaten	7-25
7.5.1.6	Fabricage en opslag van hijsankers, wapeningskooien, anti-opdrijfsysteem en interne houders	7-25
7.5.2	Fabricage van monolieten	7-26
7.5.2.1	Productiesnelheid van de monolieten	7-26
7.5.2.2	Inbrengen van het afval	7-26
7.5.2.3	Cemeteringsinstallatie	7-27
7.5.2.4	Proces voor het injecteren van de opvulmortel	7-27
7.5.2.5	Voorwaarden voor uitharding en opslag van monolieten	7-27



*Hoofdstuk 7: Ontwerp en constructie van de bergingscolli*

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

7.5.2.6	Voorwaarden voor opslag na 28 dagen en transport van monolieten	7-27
7.5.2.7	Opslag van grondstoffen voor de mortel	7-27
7.5.3	Kwaliteitsborging en kwaliteitscontrole	7-28
7.5.4	Demonstratie van de haalbaarheid van de constructie van de monolieten alsook de opvolging van hun performantie op lange termijn	7-28
7.5.5	Afwijking en correctieve acties	7-28
<b>7.6</b>	<b>Ondersteunende documenten aan Hoofdstuk 7</b>	<b>7-30</b>
<b>7.7</b>	<b>Andere referenties</b>	<b>7-30</b>
<b>7.8</b>	<b>Bijlage 7-1: Lijst van gebruikte afkortingen</b>	<b>7-32</b>

## 7 Ontwerp en constructie van de bergingscolli

### 7.1 Inleiding en doelstellingen

Het doel van dit hoofdstuk is het beschrijven van de bergingscolli (ook wel monolieten genoemd) en aantonen dat deze verenigbaar zijn met het bergingsconcept, de operationele veiligheid en de langetermijnveiligheid.

Uiterlijk gezien is de monoliet een kubusvormig, ruimtelijk lichaam met een vierkante basisoppervlakte waarvan de afmetingen voor alle types dezelfde zijn, en met een hoogte die afhangt van het type.

De monoliet bestaat uit volgende onderdelen:

- de caisson (inclusief zijn deksel), die dienst doet als de (bergings-) primaire verpakking. Eventuele interne structuren verbonden aan de caisson worden verondersteld deel uit te maken van deze caisson;
- de 'opvulmortel' (ook 'mortel' genoemd) (op cementbasis);
- het afval, dat op zijn beurt, afhankelijk van het type monoliet, bestaat uit:
  - ▶ geconditioneerd radioactief afval in primaire colli voor types I en II-monolieten;
  - ▶ rechtstreeks ingebracht ruw en/of verwerkt radioactief afval ('bulkafval') voor type III monolieten.

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

- 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 (o.a. beheer van wijzigingen) en het beheerproces van de fabricage van de monolieten.
- Hoofdstuk 5 (HS05) beschrijft de fenomenologie dewelke van belang is bij het ontwerp.
- Hoofdstuk 6 (HS06): de monoliet sluit het primaire afval in maar de aspecten verbonden aan dit primaire afval zijn geen onderwerp van dit hoofdstuk; ze worden besproken in Hoofdstuk 6.
- Hoofdstuk 8 (HS08) beschrijft het ontwerp en de constructie van de berging.
- Hoofdstuk 13 (HS13) definieert o.a. de ontwerpgebeurtenissen 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) bevat alle conformiteitscriteria voor de bergingscolli (Bijlagen 1 en 2 van HS15), een deel wordt weliswaar afgeleid in HS07 (zie Bijlage 2 van HS15).

- Hoofdstuk 16 (HS16) beschrijft het monitoringprogramma, met inbegrip van de monitoringactiviteiten om de performantie van de monolieten op lange termijn op te volgen.

Het belangrijkste document waarop dit hoofdstuk steunt, is het document getiteld *Detailed Design Monolith* [OD-131]. Een volledige lijst met ondersteunende documenten is terug te vinden in §7.6, een lijst met andere referenties is opgenomen in §7.7.

## 7.2 Veiligheidsfuncties en andere functies

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, waarbij in een eerste stap ontwerpinputs beschreven worden waarvan in een tweede stap ontwerpvereisten afgeleid worden. Tabel 7-1 geeft een overzicht welke ontwerpvereisten van toepassing zijn op welke onderdeel van de bergingscolli (caisson of mortel). De definities van de verschillende ontwerpvereisten zijn terug te vinden in HS02, §2.7.7 en Bijlage 2-2.

Tabel 7-1: Overzicht van de ontwerpvereisten voor de monoliet

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
5. Monoliet																												
Caisson	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mortel	X	X		X		X	X			X	X	X	X			X	X							X	X	X		X

Belangrijke bronnen waaruit ontwerpinputs afgeleid worden zijn o.a. het veiligheidsconcept (waarin de veiligheidsfuncties gedefinieerd en toegewezen worden, zie §2.8 van HS02) en het regelgevende kader. In het veiligheidsconcept vervullen de monolieten verschillende veiligheidsfuncties die bijdragen tot **insluiting** en **afzondering**, zowel voor de langetermijnveiligheid (zie §2.8.4 van HS02) als tijdens de operationele periode (zie §2.8.6 van HS02):

- Veiligheidsfuncties die bijdragen tot insluiting:
  - ▶ Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (functie R2a, waaruit ontwerpvereisten DR5.a tot en met DR5.f voortvloeien)
  - ▶ Chemisch vasthouden van radionucliden (R3, waaruit ontwerpvereiste DR3 voortvloeit)
  - ▶ Beperken van diffusie van radionucliden (R4a, waaruit ontwerpvereiste DR7 voortvloeit)
- Veiligheidsfuncties die bijdragen tot afzondering:
  - ▶ Beperking van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie (I1, waaruit ontwerpvereisten DR1.a tot en met DR1.c voortvloeien)

Tijdens de operationele periode zorgt de monoliet ook voor radiologische **afscherming**.

Een overzicht wanneer de monoliet welke veiligheidsfuncties vervult wordt gegeven in Tabel 7-2 (operationele periode) en Tabel 7-3 (langetermijn).

Tabel 7-2: Veiligheidsconcept voor de monoliet tijdens de operationele periode

SSC	Insluiten			Afschermen			Afzonderen		
	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II
5. Monoliet									
Caisson	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Mortel	M	M	M	M	M	M	M	M	M

Tabel 7-3: Veiligheidsconcept voor de monoliet voor de langetermijn

SSC	Insluiten												Afzonderen			
	R2a				R3				R4a				II			
	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb
5. Monoliet																
Caisson	M	M	C	C	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	C	C
Mortel	M	M	C	C	M	M	M	M					M	M	C	C

De monoliet is een SSC belangrijk voor de veiligheid (zie HS02, §2.8.7). In §7.4 worden dan ook 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. De conformiteitscriteria zijn genummerd ('MonXX'); zie HS15, Bijlage 2 voor een overzicht. Met de conformiteitscriteria kan bij realisatie van de caissons en monolieten 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.

### 7.3 Beschrijving van de bergingscolli

#### 7.3.1 Types monolieten

Drie verschillende types monolieten worden gebruikt. Deze worden monolieten van type I, type II en type III genoemd. Bij deze drie types monolieten passen drie types caissons, die dezelfde type-naamgeving overnemen.

Monolieten van type I en II bevatten uitsluitend geconditioneerd afval in primaire colli. Deze twee types monolieten verschillen enkel, wat afmetingen betreft, in hoogte. De keuze voor een caisson type I of type II wordt bepaald door de afmetingen van de primaire colli. Meer bepaald door de hoogte ervan. Een caisson type III wordt gebruikt voor rechtstreeks ingebracht ruw en/of verwerkt radioactief afval of anders gezegd: 'bulkafval'.

Figuur 7-1 illustreert de drie types caissons (met afval geladen, maar voordat de opvulmortel wordt geïnjecteerd).



**Figuur 7-1: Illustraties van de drie types caissons: type I (links), type II (midden) en type III (rechts) met afval**

Tabel 6-8 (HS06) geeft een overzicht van welke afvalcolli voorzien zijn in welk type monoliet. Er wordt ook een schatting gegeven van het aantal (bergings)colli, gebaseerd op de beschouwde inventaris.

Tabel 7-4 geeft de belangrijkste afmetingen en massa's weer die karakteristiek zijn voor de drie types caissons. De maximale massa voor een type III monoliet werd vastgelegd op 20,0 ton; dit gebeurde door een hypothetische vulling met 30 % staal te veronderstellen [OD-131] (§4.4.4 van annex 1). De maximaal verwachte massa voor de monolieten van type I en type II werd berekend op basis van bestaande colli GA en bedraagt respectievelijk 15,4 ton en 16,9 ton [OD-131] (§4.4.5 van annex 1). Het is echter niet uitgesloten dat in de toekomst zwaardere colli geproduceerd zullen worden zodat het niet wenselijk is de huidige verwachte maxima als limiet voor de massa te gebruiken. Daarom werd er voor monolieten van type I en type II een maximale massa afgeleid op basis van de maximale massa voor een monoliet van type III:

- Type I. In de bergingsmodules worden de monolieten ofwel 6 hoog gestapeld (type I) ofwel 5 hoog (type II/III). De maximale massa van een type I monoliet werd op basis hiervan afgeleid. Ze bedraagt (afgerond) 5/6 van de maximale massa van een type III monoliet zodat een stapel van 6 type I monolieten nooit meer weegt dan een stapel van 5 type III monolieten.
- Type II. De maximale massa van een type II monoliet werd afgeleid op basis van de afmetingen van de sectie van de hijsankers. Voor type II monolieten bedragen deze 35x35 mm, voor type III monolieten 40x40 mm. Aangezien de krachtoverbrenging van het anker op het beton afhangt van de contactoppervlakte bedraagt de maximale massa van een type II monoliet 35/40 van de maximale massa van een type III monoliet.

Zie Tabel 7-5 voor een overzicht van de beschouwde maximale massa's bij het ontwerp.

Tabel 7-4 – Afmetingen en massa's van de drie types caissons en/of monolieten

Type monoliet	Nominale hoogte [mm]	Nominale breedte [mm]	Massa van de caisson <sup>1</sup> [ton]	Maximum massa monoliet [ton]
I	1351	1946	4,9	16,6
II	1621	1946	5,7	17,5
III	1621	1946	6,3	20,0

### 7.3.2 Algemene beschrijving van de belangrijkste onderdelen van de monolieten

#### 7.3.2.1 Caissons type I, II en III

Tabel 7-4 geeft een overzicht van de karakteristieke afmetingen en massa's. De detailafmetingen zijn opgenomen in de plannen:

- 121\_ALL\_GCCO\_001\_I: Caissons – Monolieten types en verpakkingen
- 121\_ALL\_GCCO\_002\_K: Bekisting caisson – type I
- 121\_ALL\_GCCO\_003\_M: Bekisting caisson – type II
- 121\_ALL\_GCCO\_004\_I: Bekisting caisson – type III
- 121\_ALL\_GCCO\_005\_G: Hijsanker caisson

De belangrijkste kenmerken van het lichaam van de caissons en van het deksel zijn de volgende (zie Figuur 7-2 en Figuur 7-3):

- Het lichaam van de caisson (1) is een rechthoekige container uit gewapend beton met een dikte van 12 cm.
- Het deksel (2) is eveneens gemaakt uit gewapend beton en heeft een dikte van 8 cm voor de caissons van type I en II en een dikte van 12 cm voor de caissons van type III.
- Het materiaal dat gebruikt wordt voor de wapeningskooien voor de lichamen van de caissons en voor het deksel is koolstofstaal (zie ook §5.3 van H05).
- Het deksel rust op vier kolommen (3) die zich tegen de binnenwanden van het lichaam van de caisson bevinden (caissons type I en II) of op een binnenrand (4) (caissons type III).
- De caisson is voorzien van vier hijsankers in de hoeken (5), verankerd in het beton, waarbij het uitstekende deel U-vormig is met een vierkante doorsnede. De vier hijsankers laten de hantering van de caisson en van de monoliet toe met de vereiste nauwkeurigheid met grijpers die voorzien zijn voor de verschillende hantering; het basismateriaal dat voor deze hijsankers wordt gebruikt, is een 42CrMo4-legering.

<sup>1</sup>Met inbegrip van de massa van het deksel.

- De caisson is voorzien van een verankeringsstelsel in de kolommen voor het deksel (caissons van type I en II) of in het verlengde van de binnenrand ter hoogte van de hoeken (caissons type III). Dit stelsel (ook anti-opdrijfstelsel genoemd) heeft tot doel het deksel op het lichaam van de caisson te houden tijdens het vullen met de opvulmortel door het tegenwerken van de kracht voortvloeiend uit de Archimedeskrachten op het afval. Het verankeringsstelsel is slechts werkzaam tijdens de fase van het vullen en het uitharden van de mortel.
- De vier binnenzijden van het lichaam van de caisson zijn voorzien van groeven (6). Het doel hiervan is de hechting van de opvulmortel te bevorderen (in uitgeharde toestand) met het lichaam van de caisson.
- De vier bovenzijden van het lichaam van de caisson zijn voorzien van een gootje (7). Het doel hiervan is de hoeveelheid water (afkomstig van bijvoorbeeld condens) te beperken dat eventueel kan stagneren op de bovenzijde van het deksel van de monolieten.
- Onder het deksel bevinden zich ankerpennen en een wapeningsnet (8 – ankerpennen zijn niet getekend op de figuur). Het doel hiervan is het deksel te verankeren met de uitgeharde opvulmortel.
- De deksels van caissons type I/II zijn voorzien van openingen voor de injectie (9) van de opvulmortel. De openingen in de deksels van caissons type III zijn specifiek (zie §7.3.2.2) en zijn niet zichtbaar op Figuur 7-3.
- Elke monoliet is voorzien van een unieke identificatie. Deze wordt op het bovenvlak van de caissonwand aangebracht (zie Figuur 7-4). Hiervoor worden matrijzen in de mal ingebracht. De uitvoering is verzonken<sup>2</sup> en de tekens zijn enkele mm diep en 4 cm hoog. Er wordt een identieke redundante identificatie aangebracht op één van volgende plaatsen<sup>3</sup>:
  - ▶ Een zijvlak (buitenkant) van het caisson lichaam
  - ▶ Een andere locatie op het bovenvlak van de caissonwand

### 7.3.2.2 Specifiek ontwerp van caissons type III

Om de dichtheid van de caisson te garanderen voordat hij met mortel opgevuld wordt, heeft het ontwerp van de caissons type III volgende kenmerken:

- Het deksel rust op een binnenrand (4) die zich op de bovenkant van de binnenzijden van het lichaam van de caisson bevindt (over heel de omtrek). Het deksel is vastgebout en een dichting tussen de binnenrand en het deksel zorgt voor de insluiting van stof (dat potentieel geactiveerd of besmet is).

---

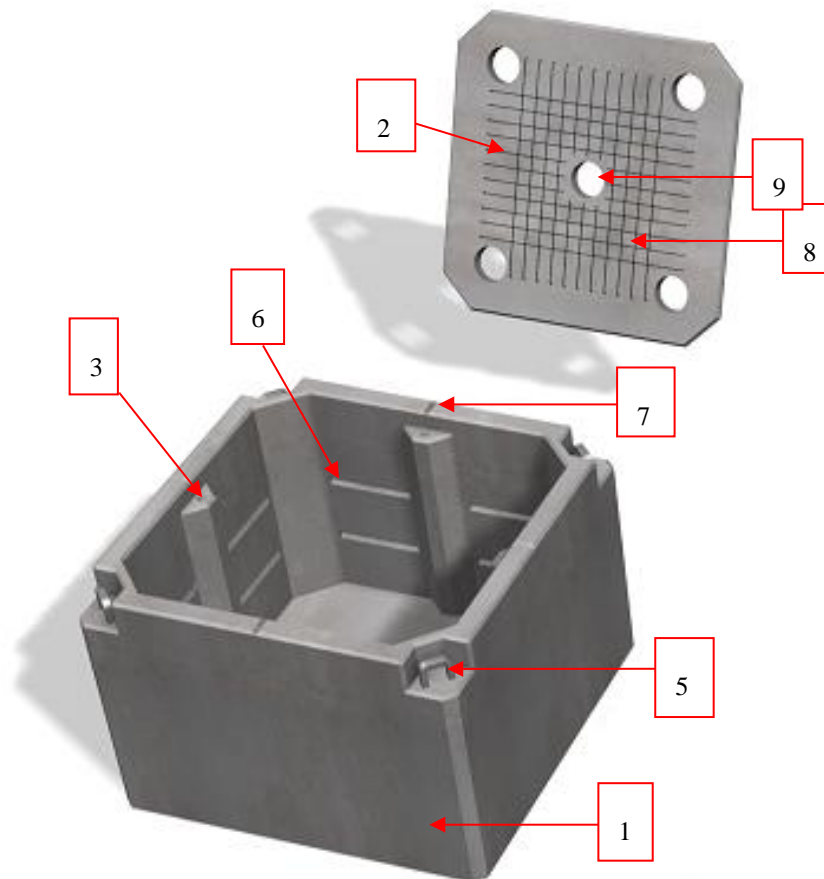
<sup>2</sup> Ofwel omgekeerd verzonken (dit wil zeggen verzonken rondom de letters en/of cijfers) ofwel het omgekeerde, afhankelijk wat het beste resultaat geeft bij ontkisting.

<sup>3</sup> Daarenboven wordt voor operationele doeleinden in de caissonfabriek elk stuk (caisson lichaam, caisson deksel) voorzien van een uniek nummer dat geprint of geverfd wordt op het stuk. Deze nummering heeft niet tot doel bij te dragen tot de identificatie op lange termijn.

- De openingen van het deksel zijn initieel afgesloten. Deze worden doorgeponst net voordat de opvulmortel wordt geïnjecteerd.

Het deksel heeft een dikte van 12 cm en verzekert hiermee, tijdens de fase waarin de opvulmortel nog niet aanwezig is, een radiologische afscherming die evenwaardig is aan deze van de zijwanden.

Het afval wordt geplaatst in een interne container (in de vorm van een 'korf'). De bedoeling hiervan is om de binnenzijde van de caisson te beschermen tegen schokken op het ogenblik dat de afvalstoffen worden geladen en om de aanwezigheid van een 'laag' opvulmortel tussen de inwendige wanden van de caisson en het afval te bevorderen.



Figuur 7-2 : Een afbeelding van de belangrijkste onderdelen van caisson type I en type II

### 7.3.3 Het beton

Voor verdere detailinformatie omtrent het beton en zijn samenstelling wordt verwezen naar Hoofdstuk 5 (HS05, §5.3). Als resultaat van de optimaliseringsoefening wordt de ontwerp oplossing om de caissons te



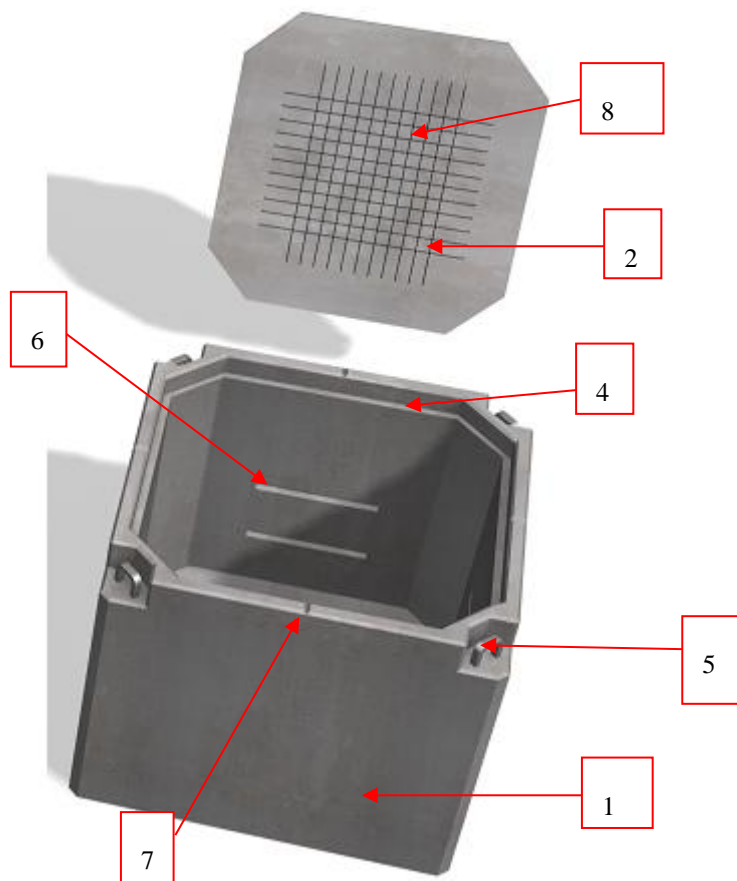
maken met wapeningsvezels in plaats van klassieke wapeningsstaven (of een hybrideoplossing met een combinatie van gewapend en vezelversterkt beton) onderzocht (zie §7.4.3).

### 7.3.4 De opvulmortel

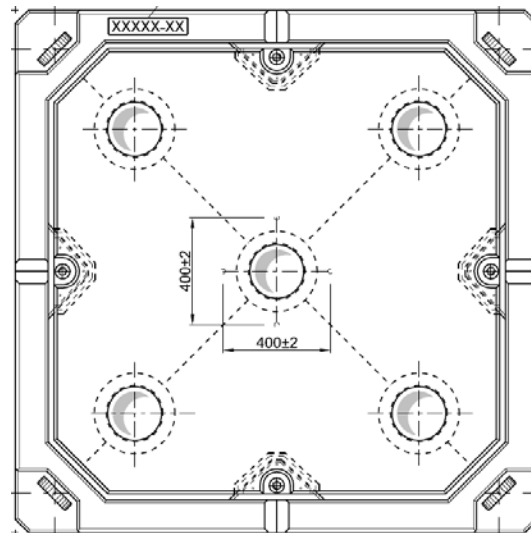
Voor verdere detailinformatie omtrent de samenstelling van de mortel en de redenen van de keuze ervan wordt verwezen naar Hoofdstuk 5 (HS05, §5.4).

### 7.3.5 Specifiek ontwerp

Het is niet uitgesloten dat voor bepaalde afvalfamilies het referentieontwerp, zoals in dit document wordt beschreven, aangepast dient te worden teneinde de caissons/monolieten hun veiligheidsfunctie kunnen vervullen. In dit geval zal het veiligheidsdossier aangepast worden; vandaag de dag is er geen ander type monoliet voorzien.



Figuur 7-3 : Een afbeelding van de belangrijkste onderdelen van caisson type III



Figuur 7-4: Bovenaanzicht van een caisson type I/II met linksboven schematisch de locatie van de identificatie

## 7.4 Ontwerp

### 7.4.1 Ontwerp en constructieregels

Volgende voorschriften, normen en standaarden werden beschouwd voor het ontwerp van de caissons en de monolieten.

- NBN EN 1992-1-1: 2005, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels 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 1015-3, NBN EN 1367-1:2007.

### 7.4.2 Ontwerpbasis

§7.2 beschrijft welke ontwerpvereisten van toepassing zijn op welke component van de bergingscolli. De toepassing van het ontwerpproces op SSC's die belangrijk zijn voor de veiligheid wordt in het vervolg van deze paragraaf gegeven.

Alle ontwerpvereisten worden opgelijst en besproken. Specifieke normen en voorschriften, toegepast bij het ontwerp van de SSC's, evenals de berekeningsmethode en de beschouwde belastingsgevallen worden vermeld. Verder worden de resultaten en het ontwerp besproken. Tot slot, indien er conformiteitscriteria voortvloeien uit het ontwerpproces worden deze ook besproken (zie ook HS15 Bijlage 2 voor een overzicht).

Het huidige document bevat de belangrijkste informatie. [OD-131] bevat meer gedetailleerde informatie over bovenvermelde elementen.

#### 7.4.2.1 Ontwerpvereisten

Zie Tabel 7-1 voor een overzicht.

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

*Van toepassing op: caisson, mortel*

De caisson is gemaakt van gewapend beton en vermindert bijgevolg de waarschijnlijkheid van onopzettelijke menselijke intrusie. Ook de mortel is een sterk cohesief materiaal en vermindert bijgevolg de waarschijnlijkheid van onopzettelijke menselijke intrusie.

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

*Van toepassing op: caisson, mortel*

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

##### **DR2.a Afmetingen compatibel met het bestaande afval**

*Van toepassing op: caisson*

Het design houdt rekening met de afmetingen van het bestaande afval (zie [OD-131], annexe 1).

##### **DR3 Aanwezigheid van chemische retentie**

*Van toepassing op: caisson, mortel*

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 beton van de caisson moet bestaan uit minstens 19 gew% uitgeharde cementpasta (**Mon01**) (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 volgens de norm NBN EN 13369 en door analyse (achteraf) op betonstalen.

De mortel moet bestaan uit minstens 29 gew% uitgeharde cementpasta (**Mon02**) (Coherentie met de hypothesen van de veiligheidsevaluaties HS14, tabel 14-29 in §14.4.3.7.7.3). Het conformiteitscriterium wordt geverifieerd door weging tijdens de aanmaak en door analyse (achteraf) op mortelstalen. Voor een monoliet met colli geconditioneerd afval, moet de hoeveelheid opvulmortel groter of gelijk zijn aan 90 vol% van de ruimte bestaande uit het interne volume van de caisson minus het externe volume van de colli geconditioneerd afval (**Mon30**). Voor een monoliet met rechtstreeks ingebracht ruw en/of verwerkt radioactief afval, moet de hoeveelheid opvulmortel groter of gelijk zijn aan 50 vol% van het interne volume van de caisson (**Mon31**). De hoeveelheid mortel wordt in beide gevallen bepaald door weging.

#### **DR4 Lage diffusiviteit caisson**

Van toepassing op: caisson

De initiële effectieve diffusiviteit van de caisson moet laag zijn. Dit is het geval aangezien beton gebruikt wordt voor deze component (zie §5.3.1.2.11 van HS05).

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

Van toepassing op: caisson, mortel

De initiële hydraulische geleidbaarheid van de monoliet moet voldoende laag zijn om advectioneel transport door de matrix verwaarloosbaar te maken. Dit wordt bereikt door het gebruik van een gepaste beton- en mortelsamenstelling.

De samenstelling van het beton leidt tot een lage effectieve hydraulische geleidbaarheid, zoals blijkt uit de permeabiliteitsmeting die uitgevoerd werd (HS05, §5.3.1.2.1 tot en met §5.3.1.2.5). 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. In §5.3 van HS05 wordt de sensitiviteitsstudie besproken die uitgevoerd werd op deze samenstelling. Uit deze studie kon geconcludeerd worden dat de onderzochte duurzaamheidsparameters van dit beton niet significant beïnvloed werden door deze afwijkingen. De toegelaten afwijkingen zijn bijgevolg deze van de algemene betonnorm: EN 206-1.

De samenstelling van de mortel biedt een high-performance mortel, zoals o.a. blijkt uit zijn lage W/C van ~0,36 (zie §5.4 in HS05) en zijn hoge druksterkte [R7-2]. De referentiesamenstelling heeft namelijk een lage water/cement verhouding (door het gebruik van superplastificeerder) waardoor de porositeit (en de hydraulische geleidbaarheid) beperkt wordt. Er werd een sensitiviteitsstudie uitgevoerd die aantoonde dat het gedrag van de mortel ongevoelig is voor variaties binnen de toleranties toegelaten door NBN EN 206-1 [R7-3]. Enkel voor de toelaatbare tolerantie op de waterdosering bleek een strengere eis nodig. De geëiste doseernauwkeurigheid bedraagt 1,5% (**Mon06**). Dit wordt geverifieerd door controles op de doseerinstallatie, bijvoorbeeld door weging.

Zie §5.4.3 van HS05 voor meer informatie over de toegelaten toleranties op de mortelsamenstelling. Alle wijzigingen buiten de toegelaten toleranties die betrekking hebben op de samenstelling van de opvulmortel van de monolieten zullen aan het wijzigingsproces onderworpen worden. Het beheer van wijzigingen aan het ontwerp wordt beschreven in §2.5.4.8 van HS02.

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

Van toepassing op: caisson, mortel

Doorgaande macro-scheuren zijn niet toegestaan in de caisson/mortel (**Mon25**).

De caissons worden in één fase gestort. De binnenste bekisting wordt na de eerste uitharding losgezet zodat verhinderde krimp geen aanleiding zal geven tot scheuren. De caissons zijn gemaakt van gewapend beton. De druksterkteklasse van het beton is minstens C40/50 (**Mon05**). Bij de fabricage van betonnen prototypecaissons werd aangetoond dat het haalbaar is om caissons zonder doorgaande (macro)scheuren te produceren (zie §12.3 van [OD-131]). Tijdens de fabricage van de caissons zal er een visuele controle

gebeuren op alle caissons. De afwezigheid van doorgaande scheuren in een caisson zal periodiek getest worden door het vullen van de caisson met water.

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

##### Van toepassing op: caisson

De hydraulische geleidbaarheid van de caissons dient laag genoeg te zijn in vergelijking met die van het opvulmateriaal van de tussenruimtes tussen de monolietstapels onderling en tussen de monolietstapels en de modulewanden. DR5.a is bijgevolg omhullend.

De vier bovenzijden van de wanden van de caisson zijn voorzien van een gootje. Het doel hiervan is het transport van water naar de tussenruimte tussen de monolietstapels te bevorderen.

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

##### Van toepassing op: caisson

Zie DR4.

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

##### Van toepassing op: caisson, mortel

Het risico op interne en externe sulfaataantasting wordt beperkt door gebruik van een gepast type cement ([OD-011] §3.4 en §4.4).

Voor de caisson:

- HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1 (**Mon07**);
- Gehalte aan SO<sub>3</sub> in het cement beperkt tot maximaal 2,5 gew% (**Mon08**);
- Gehalte aan MgO in het cement beperkt tot maximaal 1 gew% (**Mon09**);
- Gehalte aan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in het cement moet minimaal 3,5 gew% en maximaal 5,0 gew% zijn (**Mon32**);
- Het gebruik van LA cement conform aan de norm NBN B12 109 (**Mon10**);
- De gehalten (gew%) SO<sub>3</sub> en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, uitgedrukt in decimalen (dus bijvoorbeeld 5 gew% → 0,05), van het cement dienen zodanig te zijn dat de verhouding  $(C \times [\text{SO}_3] \times 12,5 + 250) / (C \times 9,8 \times [\text{Al}_2\text{O}_3]) \leq 3$  is met C het cementgehalte uitgedrukt in kg/m<sup>3</sup> (**Mon24**) [OD-011] §3.4, [R7-5].

Voor de mortel:

- CEM III/C volgens NBN EN 197-1, zie §4.4 van [OD-011] (**Mon12**)
- HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens norm NBN EN 197-1 (**Mon07**);
- Het gebruik van een cement conform aan de eisen voor LA cement conform in de norm NBN B12 109 (**Mon10**);
- Zeer lage permeabiliteit (*silica fume*, lage W/C, kalksteenmeel) – zie DR5.a
- De gehalten (gew%) SO<sub>3</sub> en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, uitgedrukt in decimalen (dus bijvoorbeeld 5 gew% → 0,05), van het cement dienen zodanig te zijn dat de verhouding  $(C \times [\text{SO}_3] \times 12,5 + 250) / (C \times 9,8 \times [\text{Al}_2\text{O}_3]) \leq 3$  is met C het cementgehalte uitgedrukt in kg/m<sup>3</sup> (**Mon24**) [13], [60].

Voor de gebruikte aggregaten geldt voor zowel caisson als mortel:

- gebruik van niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO, [R7-15]) met een laag gehalte aan silica (< 4%) (**Mon13**)

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

Verder wordt de expositie klasse XA2 volgens NBN EN206-1 opgelegd voor het beton en de mortel:

- Hoeveelheid cement  $\geq 320 \text{ kg/m}^3$  (**Mon03**)
- $W/C \leq 0,5$  (**Mon04**)
- Minimale druksterkteklasse C30/37 (**Mon05** is omhullend hieraan)
- HSR cement volgens NBN B12 108 of SR0/SR3 volgens NBN EN 197-1 (**Mon07**)

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

De uithardingstemperatuur moet beperkt blijven  $\leq 65^\circ\text{C}$  (**Mon28**). Deze waarde is van toepassing op voorwaarde dat ook criterium **Mon10** 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 prototype testprogramma heeft aangetoond dat dit geen probleem is door de beperkte afmetingen van de monoliet [OD-131] (zie §12.2). Tijdens de fabricage van dummy caissons/monolieten zal de temperatuur tijdens de uitharding gemeten worden ter bevestiging.

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

Van toepassing op: caisson, mortel

Alkali-silica reacties in de monoliet worden vermeden door:

- het gebruik van niet-dolomiet kalkhoudende aggregaten (volgens PTV845 – COPRO, [R7-15]) met een laag gehalte aan silica (< 4%) (**Mon13**). 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 (**Mon26**) en een expansie < 0,04 % op één jaar (**Mon27**);
- het gebruik van LA cement conform aan de norm NBN B12 109 (**Mon10**). Tijdens de fabricage van de monolieten zal dit criterium regelmatig gecontroleerd worden door analyse op het cement.
- het gebruikte silica fume (condensil) werd aan de mortelsamenstelling toegevoegd uit reologische overwegingen, maar een dergelijk materiaal staat eveneens bekend ASR te beperken. *Silica fume*, zeer fijn verdeelde reactieve silica, reageert immers snel met zowel portlandiet als alkaliën. Hierdoor

wordt de concentratie van alkaliën alsook het gehalte van portlandiet in het resulterende mortelmengsel verder geminimaliseerd.

In de huidige mortelsamenstelling is geen kwartszand geïncorporeerd. Gezien een hoge vloeibaarheid cruciaal is voor de goede vulling van de met afval gevulde caisson met de mortel werd de technische mogelijkheid verkend om een deel van het kalksteen zand te vervangen door siliciumzand. Dit resulteert immers, dankzij de ronde vorm van het zand, in een hogere verwerkbaarheid. Deze optie zal enkel en alleen verder gevolgd worden wanneer uit validatie met industriële uitrusting blijkt dat de mortel in zijn huidige vorm omwille van vloeiproblemen niet geschikt is. In dat geval is het beoogde vervangingspercentage maximaal 20 gew% en zal het type kwartszand kritisch gekozen worden teneinde elke negatieve interactie met alkalibronnen (afval of cement) uit te sluiten. Het zand dient in dat geval inactief te zijn tot alkaliën en de zandfractie zal in dat geval getest worden volgens de twee hogervermelde normen ASTM C 1260 en ASTM C 1293 - zie (Mon26) en (Mon27).

#### **DR9.c Weerstaan aan vorst/dooi cycli**

*Van toepassing op: caisson, mortel*

De blootstelling aan vorst/dooicycli van de monoliet 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 vorst/dooicycli verder te beperken, worden de volgende maatregelen getroffen (HS05, §5.3.2.8):

- Beton/mortel moet voldoen aan de vereisten voor de milieuklasse EE3 conform de normen NBN EN 206-1 en NBN B15-001, i.e.
  - ▶ Cement gehalte  $\geq 320 \text{ kg/m}^3$  (Mon03);
  - ▶ W/C  $\leq 0,5$  (Mon04);
  - ▶ Druksterkteklasse minstens C30/37 (Mon05 is omhullend hieraan)
  - ▶ Weerstand van aggregaten moet conform aan de norm NBN EN 1367-1:2007 of 2:2010 gemeten worden (Mon23)

De caisson en monoliet harden gedurende minstens 28 dagen uit in respectievelijk de caissonfabriek en de IPM. De monolieten worden dus nooit op jonge leeftijd aan vorst-dooi cycli blootgesteld.

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

*Van toepassing op: caisson, mortel*

Carbonatatie kan leiden tot de corrosie van de wapening van de caisson met als gevolg een degradatie van het gewapend beton. Om degradatie van de caisson door carbonatatie voldoende lang uit te stellen wordt er een CEM I cement gebruikt die door zijn hoog gehalte aan portlandiet de carbonatatiesnelheid zal beperken (Mon14) (HS05, §5.3.2.6 en §5.3.2.14). Tijdens de fabricage van de caissons zal dit criterium gecontroleerd worden met controles op het type van cement. Verder zal de natuurlijke carbonatatiesnelheid opgevolgd worden op proefstukken wat relevante metingen oplevert gezien de verwachte carbonatatiesnelheid (zie ontwikkeling voor DR9.d voor de modules, §8.5.1.2 uit HS08).

Het beton van de caissons, zal tot een leeftijd van 28 dagen beschermd worden, eerst door zijn bekisting (en/of folie en/of *curing-compound*) en later door het in een vochtige kamer te plaatsen. De tijd tussen ontkisting en de plaatsing in de vochtige kamer wordt beperkt.

De carbonatatiesnelheid in de mortel is traag omdat hij gesatureerd is – bovendien wordt de mortel beschermd tegen carbonatatie door de aanwezigheid van de caisson.

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

Van toepassing op: caisson

De druksterkteklasse van het beton is minstens C40/50 (**Mon05**). Tijdens de fabricage van de caissons zal dit criterium gecontroleerd worden volgens NBN EN 206-1.

De wapening wordt bepaald om:

- structurele defecten te vermijden (Uiterste grenstoestand design of UGT of *ULS*);
- de maximum berekende scheurbreedtes te beperken tot 0,2 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).

De waarde van 0,2 mm 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 Eurocode 2 (zie §7.4.2.2). Een maximale scheurwijdte van 0,2 mm (**Mon29**) wordt opgelegd, zie §4 van [OD-131]. Er wordt een visuele inspectie uitgevoerd om scheuren en hun karakteristieken in kaart te brengen.

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

Van toepassing op: caisson

Carbonatatie kan leiden tot de corrosie van de wapening met als gevolg een degradatie van het gewapend beton. Om degradatie van de caisson door carbonatatie voldoende lang uit te stellen is een trage carbonatatiesnelheid van het beton vereist (zie DR9.d) en wordt er een wapeningsdekking van minimaal 40 mm (45 +/- 5 mm) gespecificeerd voor de buitenzijde van de caisson op plaatsen waar de wanddikte van het lichaam 12 cm bedraagt (**Mon15**). Dit is een conservatieve waarde om de betonwapening te beschermen tegen corrosie: er wordt minder dan 6,6 mm carbonatatedikte verwacht op 1 000 jaar (zie HS05, §5.3.2.6.1). Tijdens de fabricage van de caissons zal dit criterium gecontroleerd worden met een controle van de wapeningsdekking alvorens het betonneren kan starten. Er zal na ontlasting ook een verificatie uitgevoerd worden, bijvoorbeeld met een pachometer.

Indien lokaal de dekking niet gegarandeerd kan worden, zal overgegaan worden tot het (lokaal) gebruik van roestvast staal. Bovenaan de caisson type III is de wanddikte slechts 80 mm. De dekking van 45 mm +/- 5 mm kan hier niet aan alle zijden gegarandeerd worden. Waar dit het geval is dient de wapening uitgevoerd te worden in RVS (bijvoorbeeld AISI 316L) – standaard is de wapening vervaardigd uit koolstofstaal. RVS-wapening kan gecombineerd worden met koolstofstalen wapening zonder verhoogd risico op corrosie door galvanische koppeling (in alkalisch milieu) [R7-6], [R7-7], [R7-8], [R7-9].



Er zal geen rechtstreeks fysiek contact plaatsvinden tussen de wapeningskooi en het ingebedde deel van de hijsankers (in het beton) (**Mon16**). De bekistingsmallen (waarin de hijsankers bevestigd zijn) en de hulpmallen waarmee de wapeningskooien voorbereid worden hebben nauwe toleranties wat een nauwkeurige positionering mogelijk maakt. Indien er desondanks vastgesteld wordt tijdens de testfase van de caissonfabriek dat dit onvoldoende is om fysiek contact te vermijden, zullen de hijsankers lokaal voorzien worden van een (HD)PE krimpous die als afstandshouder fungeert.

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

*Van toepassing op: caisson, mortel*

De compatibiliteit van de materialen van de caisson en de mortel 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 wanneer enkel calcium-silicaat-cementen gebruikt worden (wat het geval is).

Te beschouwen verstoringen aan de performantie zijn complexanten die de chemische retentie verminderen. Stoffen die mogelijks 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 lange termijn als aanvaardbaar geëvalueerd werden, (2) dat er rekening gehouden wordt met de acties en voorwaarden uit de risico-evaluatie m.b.t. beheersing van het risico, en (3) dat het materiaal afdoende gekwalificeerd werd.

Voor de superplastificeerders van de types *sulfonated* naftaleen-formaldehyde condensaat en polycarboxylaat, is er via diverse wetenschappelijke studies en testen een redelijk vertrouwen opgebouwd dat ze geen negatief effect hebben op het R3-performantie niveau; hetzelfde geldt voor de vervalproducten van NS superplastificeerders (§5.3.1.2.9 van HS05). Beide types zijn toegelaten, waar de doenbaarheid het toelaat, wordt een NS superplastificeerder verkozen boven een PC superplastificeerder ([OD-011], §3.4) en ([OD-187], §1.1 en §1.3) (**Mon17**). Dit wordt geverifieerd in documenten van de leveranciers.

#### **DR11 Afscherming verzekeren**

*Van toepassing op: caisson, mortel*

In HS12, §12.7.1 wordt aangetoond dat de dosis opgelopen door werknemers en leden van het publiek tijdens normale exploitatie aanvaardbaar is. Het dosistempo op contact van elke monoliet bedraagt maximaal 20 mSv/h (HS12, §12.5.4.1). De dosisberekeningen houden rekening met de afscherming die geboden wordt door de dikte van de caissonwanden en de aanwezige mortel:

- Caissonwanden:  $\geq 12$  cm (**Mon18**).
- Mortel: ruimtes tussen afvalcolli en de caissonwand worden opgevuld en zorgen zo voor afscherming
- Een wapeningsnet aan de onderzijde van het deksel (zie plannen 121\_ALL\_GCCO\_002 en 121\_ALL\_GCCO\_003) zorgt ervoor dat ook aan de bovenzijde van een afgewerkte monoliet een afscherming door 12 cm mortel/beton gegarandeerd wordt.

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

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

Van toepassing op: caisson

De controle op aardbevingsbestendigheid van de monolieten (om de insluiting van het afval in stand te houden) is uitgevoerd voor de monolieten in hun finale positie in de modules (bedekt met grind, aanwezigheid van de structurele topplaat en de afdekking) en met de DBE350 als belasting. De wijze waarop deze verificatie uitgevoerd is, wordt beschreven in §4 van [OD-198].

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

Van toepassing op: caisson

DR12.a is omhullend.

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

Van toepassing op: caisson

Zie §7.4.2.2.

#### **DR14 Gestandaardiseerde monolieten gebruiken**

Van toepassing op: caisson

Er zijn slechts drie types monolieten. De horizontale buitenafmetingen en de positie van de hijsankers zijn dezelfde voor de drie types, hierdoor zijn de manipulatiehandelingen en bijgevolg de uitrusting gestandaardiseerd. De hoogte van type II/III monolieten is gelijk aan 6/5 van de hoogte van een type I monoliet.

#### **DR15.b Levensduur hijsankers en caisson**

Van toepassing op: caisson

De levensduur van de hijsankers en de caisson moet minstens 350 jaar zijn.

Bij het ontwerp van de hijsankers werd er geen corrosietoeslag in rekening gebracht. Rekening houdend met het referentiestaal zal het dikteverlies na 350 jaar als gevolg van het algemene atmosferische corrosieproces maximaal een tweetal millimeter bedragen [OD-225], §4.1. Dit dikteverlies laat het eventueel terughalen van monolieten toe, maar zonder in dat geval aan de eisen van de SFP-principes te voldoen. Dit betekent dat de resterende diameter van het staal volstaat voor een conventionele ontwerpbenadering.

De corrosie van de hijsankers van de monolieten zal de monolieten zelf niet mechanisch beschadigen (zie HS05, §5.3.2.12).

De levensduur (minstens 350 jaar) van de caissons wordt gewaarborgd door zijn ontwerp (zie DR9.a-h).

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

Van toepassing op: caisson, mortel

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: caisson, mortel

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

### **DR24 Lege ruimtes in de bergingsverpakking beperken**

Van toepassing op: mortel

De verwerkbaarheid (vloeibaarheid) van de mortel moet voldoende hoog zijn opdat deze goed de lege ruimtes tussen het afval en de caisson zou opvullen. Op basis van ervaring van Belgoproces en op basis van het prototype programma wordt een minimale vloeimaat van 240 mm volgens de norm NBN EN 1015-3 (zonder schokken) vereist (**Mon19**). De opvulmortel moet het interne volume van de caisson volledig vullen: mortel tot de openingen van het deksel (**Mon11**).

De beperking van lege ruimtes in de bergingsverpakking en de goede omhulling van het afval zal nagegaan worden door destructieve testen op dummy monolieten. De hoeveelheid mortel wordt bepaald door weging. De mortel moet visueel bovenaan uit/langs het deksel vloeien.

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

Van toepassing op: caisson

Zie §7.4.2.2.

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

Van toepassing op: caisson

Zie §7.4.2.2.

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

Van toepassing op: mortel

Zie DR24.

## **7.4.2.2 Ontwerpberekeningen**

### **Ontwerpberekeningen voor statische en dynamische belastingen**

Annex 1 aan [OD-131] beschrijft het structurele ontwerp van de caissons. Dit werd uitgevoerd met behulp van een eindige elementen model in Ansys. Volgende **belastingscombinaties** worden hierbij beschouwd:

- Statisch (geen manipulatie):
  - ▶ UGT 1.35 \* D
  - ▶ GGT 1.00 \* D
- Dynamisch (manipulatie → dynamische factor 1.15):
  - ▶ UGT 1.35 \* 1.15 \* D

► GGT  $1.00 * 1.15 * D$

Waarbij D het eigengewicht is. Er worden diverse rekengevallen beschouwd die overeenkomen met de verschillende handelingen die een caisson ondergaat. De waarde van 'D' wordt in elk van deze rekengevallen overeenkomstig aangepast (zie §7.2 van annex 1 aan [OD-131]).

Rekengevallen in de caissonfabriek en de IPM:

- Eigengewicht van de caisson;
- Hantering van recent geproduceerde caissons in de productie-eenheid (verlaagde drukweerstand van het beton) door middel van de vier hijsankers met een hoek van minstens 60° ten opzichte van het horizontale vlak;
- Hantering door middel van de vier hijsankers met een hoek van minstens 60° ten opzichte van het horizontale vlak en een dynamische belastingsfactor in rekening gebracht van 1.15 gedurende de hantering;
- Stapelen van de caissons tot maximum vier hoog;
- Hantering van de caissons die afval maar nog geen opvulmortel bevatten door middel van 2 diagonale hijsankers met een hoek van 90° ten opzichte van het horizontale vlak.
- Hydrostatische belasting op de caissonwanden gedurende het injecteren van de opvulmortel;
- Hantering van de caisson, gevuld met afval en vloeibare mortel, door middel van 2 diagonale hijsankers en met een hoek van 90° ten opzichte van het horizontale vlak

Rekengevallen in de berging:

- Eigengewicht van de monoliet;
- Hantering door middel van 2 diagonale hijsankers met een hoek van 90° ten opzichte van het horizontale vlak en een dynamische belastingsfactor in rekening gebracht van 1.15;
- Belasting ten gevolge van het stapelen<sup>4</sup> van 6 monolieten van type I, of 5 monolieten van type II en/of III, de afschermingsplaat plus de structurele topplaat en de afdekking.

Onder de genoemde rekengevallen is de hantering van een caisson, gevuld met afval en vloeibare mortel, door middel van 2 diagonale hijsankers met een hoek van 90° ten opzichte van het horizontale vlak, bepalend voor het ontwerp.

---

<sup>4</sup> Het beschouwde stapelprincipe is als volgt:

- De (mechanische) belasting wordt enkel door de wanden van de caissons overgebracht;
- Een tolerantie van 2 cm op de excentriciteit van de plaatsing van op elkaar gestapelde monolieten is toelaatbaar en op conservatieve wijze opgenomen in de berekeningen. In de berekeningen wordt de meewerkende breedte van alle wanden van de caisson immers verminderd met 20 mm (§8.2 van annexe 1 aan [OD-131]). Dit is conservatief want als een monoliet verschoven is t.o.v. de onderstaande monoliet, dan zal de meewerkende sectie van slechts 1 of 2 wanden verkleinen. Zelfs onder deze conservatieve hypothese is de contactdruk bij statische belasting slechts 20% van het toelaatbare. Toleranties op de geometrie van de caissons zijn opgenomen op de plannen (zie §7.3.2.1).

§7.4 in annex 1 aan [OD-131] geeft de resulterende minimale wapening weer die uit de dimensionering volgt (**Mon21**). De gemiddelde wapeningshoeveelheid afgeleid van de principewapening die bepaald werd op basis van de hierboven vermelde resultaten bedraagt 5,03 cm<sup>2</sup>/m. De principewapening is een wapeningsnet  $\phi 8/10$ cm; in de hoeken en het bovenste deel van de caisson is bijkomende wapening nodig. De wapening wordt geverifieerd op de wapeningplannen en in de fabriek alvorens het betonneren kan starten. Het wapeningsstaal heeft een karakteristieke vloeigrens  $f_{yk} \geq 500$  MPa (**Mon22**) en wordt geverifieerd op materiaal fiches en door testen. In appendix 4 aan annex 1 aan [OD-131] wordt voor dit dimensionerende rekengeval nagegaan dat – vanuit structureel oogpunt - ook voor type I en type II caissons een massa van 20 ton aanvaardbaar is met de opgegeven wapening. Zie §7.3.1 voor meer informatie betreffende de maximale massa's van de monolieten.

De invloed van afwijkingen op de vorm wat betreft vlakheden/rechtheden van de bodem en de bovenzijde van de caissonwanden (de contactvlakken met andere woorden) werd niet expliciet in rekening gebracht bij de dimensionering van de caisson. De opgelegde afwerkingsklasse (de tolerantie op de vlakheid van het ondervlak is 2 mm) voor deze aspecten garandeert immers de doenbaarheid van een stapeling zonder excessieve mechanische lasten (puntlasten).

Specifiek rekengeval voor het **deksel** en het **anti-opdrijfsysteem**:

Voor het ontwerpen van de deksels voor de drie types caissons en het anti-opdrijfsysteem, werden volgende belastingen in rekening gebracht:

- Het eigengewicht van de deksels;
- De kracht voortvloeiend uit de Archimedeskracht op het afval. Het geheel van het anti-opdrijfsysteem moet aan deze belasting kunnen weerstaan.

### **Belasting bij aardbeving**

De controle op aardbevingsbestendigheid van de monolieten (om de insluiting van het afval in stand te houden) is uitgevoerd voor de monolieten in hun finale positie in de modules (bedekt met grind, aanwezigheid van de structurele toplaar en de afdekking) en met de DBE350 als belasting. De wijze waarop deze verificatie uitgevoerd is, wordt beschreven in §4 van [OD-198].

### **A posteriori gecontroleerde belastingen**

Met “a posteriori controles” bedoelen we dat er niet expliciet rekening gehouden wordt met deze belastinggevallen tijdens de (model)berekeningen van de caisson/monoliet maar dat deze belastinggevallen experimenteel worden geverifieerd door testen of proeven tijdens het prototype programma. De huidige resultaten ervan tonen aan dat het design voldoet. Als desondanks in de toekomst onbevredigende resultaten bekomen worden, dan zal het ontwerp bijgestuurd worden. Dit kan door het bijsturen van de samenstelling van één of meerdere componenten of door het (lokaal) aanpassen van de wapening.

Volgende belastingen werden niet expliciet in rekening gebracht bij het ontwerp van de caissons en de monolieten:

- Thermische belasting (hydratatie van de opvulmortel);
  - ▶ De temperatuurstijging tijdens de hydratatie van de opvulmortel werd proefondervindelijk vastgesteld. Tijdens het prototype-programma werden 2 caissons gevuld met een mortel met een vergelijkbaar hydratatiegedrag<sup>5</sup>. De maximaal bereikte temperatuur was 51°C (§6 van annex 5 aan [R7-10]) in het centrum van de monoliet waar de grootste temperatuurstijging te verwachten is. Tijdens dit testprogramma werden 2 prototype-caissons en 1 prototype-monoliet visueel gecontroleerd op scheuren. Er was geen significant verschil tussen de caissons en de monoliet (§4 van annex 3 aan [R7-10]), wat aantoont dat de hydratatie van de mortel geen mechanische schade veroorzaakt heeft. Dit aspect werd ook gecontroleerd in het kader van de upscaling-tests die uitgevoerd werden tijdens het ontwerp van de doseerinstallatie van de IPM. Daarbij werden drie prototype caissons opgevuld met dummy afval en de IPM-mortel. De maximale temperatuur bedroeg 34°C (zie §4.2.4 van Bijlage 1 (deel A) aan [R7-12]).
- Dynamische belasting van het vallen van een hoogte die in de reglementering betreffende IP-2 transportverpakking vermeld is.
  - ▶ In het kader van de prototype testen werden diverse valtesten uitgevoerd, o.a. valtesten zoals vereist door de transportregelgeving van het IAEA [R7-1]. Deze valtesten waren succesvol zodat dit belastingsgeval geverifieerd is (zie §2.5 van [R7-10]).

De invloed van deze belastingen op het gedrag van de structuur van de caisson werden a posteriori gecontroleerd in het kader van de prototype-testprogramma's.

### **Beschouwde veiligheidsfactoren op de materialen**

Bij de tijdelijke belastingen (zoals tijdens het hijsen van een monoliet) wordt er geen enkele vermindering van de veiligheidsfactor in rekening gebracht, hoewel de normen van de EUROCODE dit toelaten.

#### Beton

*UGT - Uiterste grenstoestand (Ultimate Limit State = ULS)*

Een gedeeltelijke veiligheidsfactor van 1,5 (voor permanente en tijdelijke belastingen) en 1,2 (voor accidentele belastingen) werd in rekening gebracht op de druksterkte (op cilinder). Om het

---

<sup>5</sup> De gebruikte mortel in deze test was een mortel die standaard gebruikt wordt binnen Belgoprocess (DCM MB/02). Deze heeft een cementgehalte van 25%(m/m), het cement is CEM III C 32.5 N HSR LA. De huidige referentiesamenstelling voor de mortel voor de monolieten bevat 32%(m/m) cement, het cement is CEM III C 32.5 N (LH) HSR LA (zie HS05, §5.4). OPM: de omgevingstemperatuur tijdens deze testen varieerde tussen 15°C en 25°C, wat representatief is voor de temperatuur in de uithardingsbuffer van de IPM (15°C à 30°C).

langetermijneffect van de belastingen in rekening te brengen wordt deze waarde vermenigvuldigd met 0,85.

*GGT - Gebruiksgrenstoestand (Serviceability Limit State = SLS)*

Een gedeeltelijke veiligheidsfactor van 1,0 werd in rekening gebracht.

#### Wapeningsstaal

*UGT - Uiterste grenstoestand (Ultimate Limit State = ULS)*

Een gedeeltelijke veiligheidsfactor van 1,15 werd in rekening gebracht om de rekenweerstand van het staal te bepalen.

*GGT - Gebruiksgrenstoestand (Serviceability Limit State = SLS)*

Een gedeeltelijke veiligheidsfactor van 1,0 werd in rekening gebracht. Maar om de breedte van betonscheuren te beperken tot maximaal 0,2 mm, dient de toegelaten spanning in het staal gelimiteerd te worden tot 260 MPa (in het geval de diameter van het wapeningsstaal 10 mm bedraagt) of 280 MPa (in het geval de diameter van het wapeningsstaal 8 mm bedraagt) – zie §5.2.4.2 van annex 1 aan [OD-131].

#### Anti-opdrijfsysteem

Voor het ontwerp van het deksel en het anti-opdrijfsysteem werd een veiligheidsfactor van 1,1 in rekening gebracht om de belastingen, veroorzaakt door de Archimedeskrachten op de colli, die een dichtheid hebben die kleiner is dan deze van mortel, te kunnen weerstaan.

### **Dimensionering van de hijsankers**

De hijsankers zijn ontworpen volgens de SFP-principes. Dit betekent dat twee diagonaal beschouwde hijsankers kunnen weerstaan aan driemaal de belasting van de zwaarste monoliet binnen de beschouwde categorie (type I, II of III), inclusief dynamische factoren.

Zie §12 van annex 1 aan [OD-131]: met behulp van een eindige elementen model in Ansys wordt hierin aangetoond dat voor de hijsankers een sectie van 35x35 mm<sup>2</sup> voldoende is voor een massa van de monoliet van 20 ton.

OPMERKING: de hijsankers van de Type III caissons werden in een vorige projectfase gedimensioneerd voor een monolietmassa van 24 ton en hun sectie is 40x40 mm<sup>2</sup>. Hoewel het dus structureel aanvaardbaar zou zijn om de sectie te verlagen naar 35x35 mm<sup>2</sup> werd er voor geadviseerd dit niet te doen.

Voor de gegeven afmetingen is een karakteristieke vloeigrens  $f_{yk}$  van 750 MPa voldoende voor het materiaal van de hijsankers (**Mon20**). Dit wordt geverifieerd op materiaalfiches en door testen.

De verankering van de hijsankers in het beton wordt beschreven in annex 2 aan [OD-131].

### **Overzicht van de gebruikte massa's bij het ontwerp**

Aangezien het ontwerp van de caissons/monolieten in verschillende stappen en iteraties verlopen is wordt in Tabel 7-5 verduidelijkt wat de beschouwde maximale massa's zijn van de monolieten in de verschillende ontwerpberekeningen.

Tabel 7-5: Overzicht van de beschouwde maximale massa's bij het ontwerp

Ontwerpgeval	Beschouwde massa	Referentie
Statische en dynamische belasting van de caisson/monoliet	Type I: 20,0 ton Type II: 20,0 ton Type III: 20,0 ton	Appendix 4 aan annex 1 aan [OD-131]
Hijsankers (sectie)	Type I: 20,0 ton Type II: 20,0 ton Type III: 24,0 ton	§12 van annex 1 aan [OD-131] en Appendix 4 aan annex 1 aan [OD-131]
Hijsankers (verankering in beton)	Type I: 16,6 ton Type II: 17,5 ton Type III: 20,0 ton	Annex 2 aan [OD-131]
Structurele berekening modules	100 ton per monolietstapel in de modules → Type I: 100/6 ton Type II: 20,0 ton Type III: 20,0 ton	§4.1.3.1.4 van Annex 4 aan [OD-166]
<b>CONCLUSIE</b>	<b>Type I: 16,6 ton</b> <b>Type II: 17,5 ton</b> <b>Type III: 20,0 ton</b>	

### 7.4.3 Optimalisering van de bescherming

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. §2.7.6 van HS02 bevat meer details omtrent dit onderwerp. Daarbij werden alternatieve beschermingsopties afgewogen ten opzichte van attributen zoals performantie, duurzaamheid, snelheid van realisatie van passieve maatregelen, gelaagde bescherming, aantoonbaarheid en operationele veiligheid. Op basis van deze afwegingen werden optimale ontwerpen geselecteerd.

Specifiek voor de bergingscolli werden volgende aspecten behandeld tijdens de optimalisering (zie [OD-279] voor uitwerking en details):

- Het type wapening van de caissons.
- Het al dan niet aanbrengen van een coating op de buitenzijde van de caisson.
- Het al dan niet galvaniseren van de hijsankers van de monoliet.
- Het detailontwerp van het deksel van de monoliet.
- Het al dan niet aanwezig zijn van mortel tussen de afvalcolli en de bodem van de caisson.



Het ontwerp zoals beschreven in Versie 2 van dit Hoofdstuk werd wat betreft bovenstaande aspecten optimaal bevonden en diende dus niet bijgestuurd te worden. Wel zal - als resultaat van de optimaliseringsoefening - de ontwerpoplossing om de caissons te maken met wapeningsvezels in plaats van klassieke wapeningsstaven (of een hybrideoplossing met een combinatie van gewapend en vezelversterkt beton) zowel op technisch als op financieel vlak onderzocht worden.

## 7.5 Productie van de bergingscolli

### 7.5.1 Fabricage van caissons

De caissons, als primaire verpakking van het bergingsafval, zijn onderwerp van een erkenning volgens het KB van 18/11/2002 'Regeling van de erkenning van Uitrustingen bestemd voor Opslag, Verwerking en Conditionering van Radioactief Afval' binnen het afvalbeheer, ingevoerd door NIRAS. (Zie HS15, §15.8.1 en HS06, §6.3.2.2 voor meer details).

NISD zal caissons vervaardigen in een daartoe bestemde productie-eenheid, de zogenaamde caissonfabriek. Ook de afschermingsplaten (zie §8.6.3 van HS08) zullen in deze installatie geproduceerd worden.

Ook derden (zoals bijvoorbeeld de afvalproducenten) hebben het recht zelf caissons te produceren; deze moeten ook worden erkend door NIRAS (in de zin van het koninklijk besluit van 18/11/2002).

#### 7.5.1.1 Productiesnelheid

De productiesnelheid bedraagt ongeveer 1 000 stuks per jaar (voor de drie types samen).

#### 7.5.1.2 Productie-eenheid en uitrusting

De betoncentrale en meetapparatuur zullen toelaten om de dosering van de verschillende samenstellende delen van het beton te respecteren, en dat ten minste binnen de limieten gedicteerd door EN 206-1. In de gevoeligheidsanalyse van het beton werd aangetoond dat de duurzaamheid van het beton gegarandeerd blijft binnen deze limieten ([OD-011] §3.2).

De procedures voor het aanmaken van het beton (mengtijd, periode voor het bijvoegen van water, plastificeerder, ...) zullen specifiek aangepast worden aan de ontworpen betoncentrale en zullen nauwgezet worden opgevolgd. Deze procedures zullen goedgekeurd dienen te worden door NIRAS. Audits zullen uitgevoerd worden teneinde zich te vergewissen van de goede uitvoering van de procedures. Zie ook HS06 §6.3.2.2.

#### 7.5.1.3 Fabricageproces van de caissons en deksels

##### Caissons

- Het positioneren van de wapeningskooien, de anti-opdrijfsystemen en de hijsankers in de gietvorm, evenals het vasthouden van deze posities tijdens het storten van het beton, wordt verzekerd door afstandshouders of andere gelijkwaardige systemen.

- De caissons worden vervaardigd met een ‘omgekeerde’ mal (op zijn kop), de bodem van de caisson is dan de open zijde. Deze wordt afgewerkt met een regel of met een andere techniek die toelaat om te voldoen aan de opgelegde maattoleranties.
- Het beton wordt getrild bij volstorten van de gietvorm waarbij vastgelegde trillingsparameters moeten gevolgd worden (amplitude, frequentie).
- Het gebruik van membranen voor het sluiten van de gietvorm is niet uitgesloten.

#### **Deksels**

- Het positioneren van de wapeningsnetten en de ankerpennen in de gietvorm, evenals het vasthouden van deze posities tijdens het storten van het beton, wordt verzekerd door afstandshouders of andere gelijkwaardige systemen.
- De deksels worden vervaardigd met een ‘niet-omgekeerde’ mal (niet op zijn kop), dit laat toe een zeer lichte helling te creëren in de onderzijde van het deksel zodat later tijdens het vulproces met de mortel de lucht vlotter uit de caisson kan ontsnappen. De bovenzijde van het deksel is dan de open zijde, deze wordt afgewerkt met een regel of met een andere techniek die toelaat om te voldoen aan de opgelegde maattoleranties.
- Na ontkisting wordt een wapeningsnet bevestigd aan de ankerpennen om het anti-opdrijfsysteem compleet te maken.

#### **7.5.1.4 Opslag en uithardingsvoorwaarden gedurende 28 dagen**

De caissons zullen worden opgeslagen op een plaats die beschermd is tegen neerslag en die voldoet aan de vastgestelde limieten voor het drogingsproces. Deze limieten zijn de volgende:

Bescherming tegen uitdroging door de bekisting tot ~ 2,5 dagen<sup>6</sup> na storten van de caissons; daarna -tot minimaal 28 dagen nadat het beton is gegoten - worden de caissons in een vochtige kamer geplaatst.

Tijdens de opslag van caissons zullen ze beschermd worden tegen regen en vriestemperaturen, ook wanneer ze ouder zijn dan 28 dagen.

#### **7.5.1.5 Opslag van zand en aggregaten**

Tijdens tijdelijke opslag zullen de aggregaten beschermd worden tegen slagregen en vervuiling door organisch materiaal (bijvoorbeeld vallende bladeren).

#### **7.5.1.6 Fabricage en opslag van hijsankers, wapeningskooien, anti-opdrijfsysteem en interne houders**

Deze onderdelen kunnen intern of extern gefabriceerd worden. Gedurende hun transport en opslag moeten deze onderdelen beschermd worden tegen ongunstige weersomstandigheden.

---

<sup>6</sup> Na 2,5 dagen bedraagt de kubusdruksterkte ongeveer 30 MPa.

## 7.5.2 Fabricage van monolieten

Onder fabricage van monolieten worden volgende handelingen verstaan: het inbrengen van het afval en de cementering (realiseren van de opvulmortel). De fabricage van de caissons werd eerder beschreven in §7.5.1.

De cementeringsinstallaties zijn onderwerp van een erkenning volgens het KB van 18/11/2002 'Regeling van de erkenning van Uitrustingen bestemd voor Opslag, Verwerking en Conditionering van Radioactief Afval' binnen het afvalbeheer, ingevoerd door NIRAS. Belgoprocess zal monolieten aanmaken in de IPM. Zie HS15, §15.8.1 en HS06, §6.3.2.2 voor meer details.

Ook derden (bijvoorbeeld de afvalproducenten) mogen de operaties die in de IPM worden verricht (plaatsing van het afval, inbrengen opvulmortel, ...) uitvoeren, voor zover hun procedés eveneens erkend zijn door NIRAS (ook in de zin van bovenvermeld koninklijk besluit).

### 7.5.2.1 Productiesnelheid van de monolieten

De productiesnelheid van monolieten bedraagt ongeveer 1 000 stuks per jaar (voor de drie types samen).

### 7.5.2.2 Inbrengen van het afval

De uitrusting voor het inbrengen van de colli zal de hantering van de colli en het inbrengen ervan in de caissons mogelijk maken. Dit zonder de primaire colli of de caissons te beschadigen en rekening houdend met de technische voorschriften voor hun positionering in de caissons. Deze technische voorschriften zijn:

- elk van de ingebrachte colli (inclusief de grijper tijdens het inbrengen) moet binnen het gabariet van de caisson passen;
- de positionering van de colli moet dusdanig zijn dat de projectie van het zwaartepunt van de resulterende monoliet op diens bodemoppervlak zich bevindt binnen een cirkel rond het middelpunt van dit bodemoppervlak, waarvan de straal wordt bepaald door de mechanische vereisten van de grijpers voorzien voor het hanteren van de monolieten. Bij het voorontwerp van de grijper was de toegelaten excentriciteit 120 mm (op de straal). Er werd geverifieerd dat het huidige SFP-ontwerp dezelfde excentriciteit aankan; de vingers van de grijper zijn wat dit betreft het kritieke onderdeel [R7-13]. Voor de monolieten waarin vier 400-l colli of vijf 220-l colli ingebracht worden is vooral de massa van de geselecteerde colli die gecombineerd worden van belang aangezien er slechts minieme verschillen mogelijk zijn van de posities van de colli in de caisson. In [R7-13] wordt ook aangetoond dat voor de minimale en maximale massa's van de huidige colli ruimschoots aan dit criterium voldaan wordt voor de configuraties met 400-l colli en 220-l colli. In de type II-caissons waarin slechts één vat geplaatst wordt, moet de positie van het collo ten opzichte van het centrum van het grondvlak van de caisson zodanig zijn dat aan bovenvermeld criterium voldaan is. Voor type III monolieten is de toegelaten excentriciteit eveneens 120 mm (op de straal). In [R7-13] werden als inputgegevens voor de geometrie, massa, ... van de monoliet gegevens gebruikt van een vorige versie van het monolietontwerp. Daarom werd in [R7-14] nagegaan of de maximale excentriciteit gerespecteerd blijft voor het ontwerp uit versie 2 van dit Hoofdstuk. Hiervoor werd het meest belastende geval bekeken, nl. een type III monoliet met een sterke niet-symmetrische verdeling van

de massa van het afval. De berekende excentriciteit bedraagt 93 mm, wat kleiner is dan de toegelaten 120 mm.

### 7.5.2.3 Cementeringsinstallatie

De procedures voor de aanmaak van mortel (mengtijd, periode voor toevoeging water, plastificeerder, ...) zijn gedefinieerd door derden die verantwoordelijk zijn voor het ontwerp van de installatie, of door de exploitant. Deze procedures zullen dus specifiek aangepast worden aan de cementeringsinstallatie, ontwikkeld en geïmplementeerd worden en moeten nauwgezet worden gevolgd door de exploitant van de installatie. De procedures dienen te worden goedgekeurd door NIRAS. Audits zullen tevens uitgevoerd worden om er zich van te vergewissen dat de procedures juist uitgevoerd worden. Zie ook §3.4.13 van HS03 voor een beschrijving van de afbakening van de verantwoordelijkheden tussen NIRAS (NISD) en Belgoproces.

### 7.5.2.4 Proces voor het injecteren van de opvulmortel

Voor de caissons die afval bevatten dat geconditioneerd is in primaire colli, waarvoor geen risico<sup>7</sup> bestaat op radiologische besmetting van de opvulmortel tijdens het injecteren ervan, zal de opvulmortel in één stap worden geïnjecteerd.

Voor de caissons die bulkafval bevatten of afval geconditioneerd in primaire colli, waarvoor een risico bestaat op radiologische besmetting van de opvulmortel tijdens het injecteren ervan, voltrekt het injecteren van de opvulmortel zich in twee stappen. In een eerste stap wordt het afval bedekt (hierdoor worden de radioactieve stofdeeltjes geïmmobiliseerd), bij de tweede stap, minstens 40 uren later<sup>8</sup>, wordt de caisson volledig gevuld. De dikte van deze laatste laag bedraagt ongeveer 10 cm.

### 7.5.2.5 Voorwaarden voor uitharding en opslag van monolieten

Een monoliet mag niet verplaatst worden tijdens de kritische periode: vanaf aanvang van de binding (ongeveer vier uur na cementering) tot voldoende uitharden van de mortel (ongeveer 40 uren).

De omgevingstemperatuur van de verschillende zones waar de monolieten gedurende de eerste 28 dagen verblijven, is minimaal 5°C.

### 7.5.2.6 Voorwaarden voor opslag na 28 dagen en transport van monolieten

Indien er opslag voorzien is na 28 dagen worden de monolieten onder een afdak geplaatst, beschermd tegen de regen en vrieskou.

De monolieten worden eveneens beschermd tegen de regen tijdens hun transport naar de modules.

### 7.5.2.7 Opslag van grondstoffen voor de mortel

Indien de aggregaten tijdelijk moeten worden opgeslagen, zullen ze minstens beschermd worden tegen slagregen en vervuiling door organisch materiaal (bijvoorbeeld vallende bladeren).

---

<sup>7</sup> Of een risico dat voldoende klein wordt geacht.

<sup>8</sup> Tijdens deze periode wordt de monoliet in de zone 'uithardingsbuffer bulk' geplaatst.

### 7.5.3 Kwaliteitsborging en kwaliteitscontrole

De wijze waarop de QC zal gebeuren op het naleven van de conformiteitscriteria is beschreven in §7.4.2. Een overzicht is gegeven in Bijlage 2 van HS15.

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 in een later stadium gebeuren.

### 7.5.4 Demonstratie van de haalbaarheid van de constructie van de monolieten alsook de opvolging van hun performantie op lange termijn

De ontwikkeling van de monolieten wordt ondersteund door een prototype-programma. Dit programma heeft tot doel de haalbaarheid van hun constructie in overeenstemming met de conformiteitscriteria aan te tonen. De doelstellingen, samenstellingen en de beschikbare resultaten zijn vermeld in document [OD-131] (§1.2.4, §1.2.5, §11 en §12). Enkel de fase 2 van de testen op de monoliet zoals vermeld in [R7-10] moet nog gebeuren (e.g. het stapelen van monolieten). Gezien de grote marge op de druksterkte bij het stapelen van de monolieten (zie §8 van annex 1 aan [OD-131]) wordt deze test later uitgevoerd, ten laatste bij de indienststellingstesten van de IPM.

Tevens zullen in het kader van de structurele monitoring getuigestructuren opgericht worden. Deze zullen worden geplaatst in gelijkaardige omstandigheden als de monolieten, namelijk in speciale hiervoor voorziene kamers tussen de modules. Deze kamers zullen vanuit de inspectiegalerij toegankelijk zijn. Dit laat toe het gedrag en de evolutie van het beton gedurende lange termijn op te volgen. De principes rond structurele monitoring worden verder uitgeklaard in HS16, §16.5 en [OD-177].

### 7.5.5 Afwijking en correctieve acties

§8.6.9 van HS08 beschrijft hoe omgegaan wordt met niet-conforme materialen, onderdelen of componenten (niet-conformiteiten met de conformiteitscriteria die zowel materieel als niet-materieel kunnen zijn). Dit is eveneens geldig voor de bergingscolli.

De mogelijke niet-gedetectedeerde afwijkingen bij de constructie van de caissons/monolieten en hun impact op de veiligheid zijn in §14.3.3 van HS14 geïdentificeerd en besproken:

- FEP 1.1.03.01: “*Poor quality construction*”
- FEP 2.1.03.01: “*Material defects (caisson)*”
- FEP 2.1.04.01: “*Non-perfect backfilling of monoliths*”
- FEP 2.1.04.02: “*Material defects (mortar)*”

Enkel de eerste van deze FEPs werd bij de AES scenario-ontwikkeling als initiërende FEP geïdentificeerd, waarbij de volgende effecten beschreven zijn:

- Kleinschalige grindnesten
- Lokale heterogeniteiten wat betreft vezelgehalte en vezeloriëntatie (voor vezelversterkt beton - dus niet van toepassing op de referentieoplossing van de caissons/monolieten)

§14.3.3 van HS14 beschrijft de mogelijke gevolgen van kleinschalige grindnesten (FEP 1.1.03.01):

- grindnesten aan de buitenzijde van de betonnen structuren kunnen een klein tot verwaarloosbaar effect hebben op de mechanische sterkte, transporteigenschappen en carbonatiesnelheid;
- de effecten van interne grindnesten zijn verwaarloosbaar.

De caissons worden gemaakt in een gecontroleerde prefab-omgeving en hebben beperkte afmetingen (in vergelijking met bijvoorbeeld een module). Dit maakt dat een 100% controle kan en zal uitgevoerd worden op de afgewerkte producten. Een van de voorziene controles is een visueel nazicht op defecten zoals uitwendige grindnesten. De grootteorde van grindnesten die sporadisch deze controle onopgemerkt kunnen passeren wordt geschat op enkele millimeters à één centimeter. Gedetecteerde afwijkingen zullen, zoals hoger vermeld, behandeld worden in overeenstemming met de procedures voor de behandeling van niet-conforme materialen, onderdelen of componenten.

Het ontwerp bevat voldoende veiligheidsmarges om dit op te vangen:

- Mechanische sterkte: effect is verwaarloosbaar voor kleinschalige grindnesten (zoals deze van hogervermelde grootteorde) en bovendien biedt de huidige betonsamenstelling marge. Er wordt een druksterkteklasse van minstens C40/50 geëist en deze kan met het voorgestelde recept in de praktijk met marge gehaald worden. Zo bedroeg bij de fabricage van de prototype caissons de karakteristieke druksterkte  $f_k$  op kubus 55,2 MPa (op basis van [R7-11]).
- Carbonatatie: als wapeningsdekking wordt 45 +/- 5 mm opgelegd. Vanuit fenomenologisch standpunt is de verwachte indringing van het carbonatatiefront bij de verwachte evolutie kleiner dan 10 mm (zie HS05, §5.3.2.6.1) zodat de marge groter is dan hogervermelde grootteorde van grindnesten.
- Transporteigenschappen: bij kleinschalige grindnesten (zoals deze van hogervermelde grootteorde) blijft er voldoende intact materiaal over opdat de transporteigenschappen van de SSC in zijn geheel niet wezenlijk verandert: het transport blijft diffusief in > 90% van de wanddikte van de caisson (grootteorde grindnesten 1 cm ten opzichte van wanddikte 122 mm).

## 7.6 Ondersteunende documenten aan Hoofdstuk 7

- [OD-011] ONDRAF/NIRAS, Formulation of the concrete for the modules, concrete containers and cementitious backfill Note 2007-1876 rev.2 (January 2019)
- [OD-038] ONDRAF/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-107] ONDRAF/NIRAS, Additional sorption values for the cementitious barriers of a near surface repository, NIROND-TR 2010-06 E V1 (March 2011)
- [OD-131] ONDRAF/NIRAS. Detailed Design Monolith, NIROND-TR 2011-63 E V3 (November 2018)
- [OD-177] ONDRAF/NIRAS, Structural Monitoring, NIROND-TR 2011-66 E V2 (November 2018)
- [OD-187] ONDRAF/NIRAS, Aspects phénoménologiques relatifs aux processus de dégradation chimiques des barrières ouvragées à base de liant hydraulique - Evaluation de la phase d'initiation de la corrosion des armatures des structures en béton armé, NIROND-TR 2011-58 F V3 (août 2018)
- [OD-198] ONDRAF/NIRAS, Seismic performance of monoliths and modules, NIROND-TR 2011-57 E V3 (June 2018)
- [OD-225] ONDRAF/NIRAS, Evaluation des vitesses de corrosion atmosphérique d'un acier peu allié, NIROND-TR 2011-72 F V1 (février 2011)
- [OD-279] ONDRAF/NIRAS, Optimalisering, NIROND-TR 2008-03 N V1 (februari 2018)

## 7.7 Andere referenties

- [R7-1] IAEA, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials. 2009 edition, Safety Requirements N° TS-R-1.
- [R7-2] WTCB-CSTC, Etude de sensibilité d'une formulation de mortier, ref. 65092004/6, 2012
- [R7-3] WTCB-CSTC, brief ref 300/54753/JPI/KCA
- [R7-4] AFGC (Association Française de Génie Civil), Concrete design for a given structure service life, 2007
- [R7-5] Robert Gens, Erik Coppens, Thaumasite formation and ettringite formation, new insight. (2007) Niras note 2017-1893.
- [R7-6] C.M. Abreu, M.J. Cristobal, M.F. Montemor, X.R. Novoa, G. Pena, M.C. Perez, Galvanic coupling between carbon steel and austenitic stainless steel in alkaline media Electrochimica Acta 47 (2002) 2271\_/2279
- [R7-7] S. Qian, D.Qu, Galvanic effect induced by coupling of stainless steel and carbon steel reinforcements, Institute for Research in Construction, NRCC-49226, 2006 (Canada)
- [R7-8] Gro Markeset, Stainless steel reinforcement in concrete structures - State of the art, COIN Project Report 4 – 2008 (SINTEF)
- [R7-9] F. Cui, A. Sagüés, Cathodic Behavior of Stainless Steel 316LN Reinforcing Bars In Simulated Concrete Pore Solutions, NACE Corrosion Conference, Paper 08323, 2008
- [R7-10] NIRAS, Prototype test programme, ref. 2012-0249 rev.1, 07/02/2014.

*Hoofdstuk 7: Ontwerp en constructie van de bergingscolli*

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

- [R7-11] THV Smet Tunnelling – SOCEA, NIRAS3011D, Bepalen karakteristieke druksterkte, 2010.
- [R7-12] TECHNUM, Doseerinstallatie IPM – NIRAS Dessel: Verslag grootschalige proeven, 2017
- [R7-13] TRACTEBEL ENGINEERING SUEZ, Monolith handling gripper – Design strength verification, TS023-NTE-3-001, Mars 2010.
- [R7-14] TRACTEBEL ENGINEERING SUEZ, Evaluation of the maximal eccentricity of Type III monolith loading, TS312-NTE-1-001, January 2013.
- [R7-15] COPRO, PTV 845: Technische voorschriften voor carbonaatrijk sedimentair gesteente, 15 juni 2006.



## 7.8 Bijlage 7-1: Lijst van gebruikte afkortingen

ASR	Alkali-silica reactie
DBE	Ontwerpaardbeving ( <i>Design Basis Earthquake</i> )
DR	<i>Design Requirement</i> (Ontwerpvereiste)
FANC	Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle
FEP	<i>Features, events and processes</i>
GGT	Gebruiksgrenstoestand (= SLS, <i>Serviceability Limit State</i> )
HS	Hoofdstuk
HSR	High Sulphate Resistant
IAEA	Internationaal Atoomenergieagentschap
IPM	Installatie voor de Productie van Monolieten
KB	Koninklijk Besluit
LA	<i>Low Alkali</i>
NIRAS	Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Spleijstoffen
NISD	Niras Site Dessel
NS	Naftaleensulfonaat
OD	Ondersteunend Document
PC	Polycarboxylaat
QA	<i>Quality Assurance</i>
QC	<i>Quality Control</i>
RVS	Roestvast staal
SCK•CEN	StudieCentrum voor Kernenergie – <i>Centre d’Etudes d’energie Nucléaire</i> (België)
SFP	Enkelvoudig storingsveilig ( <i>Single Failure Proof</i> )
SLS	<i>zie GGT</i>
SSC	Systemen, Structuren en Componenten belangrijk voor de veiligheid ( <i>Systems, structures en components</i> )
UGT	Uiterste grenstoestand (= ULS, <i>Ultimate Limit State</i> )
ULS	<i>zie UGT</i>
WTCB	Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf



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