

## **Vragen en antwoorden van Hoofdstuk 7**

HS07-001 Afleiden van de conformiteitscriteria

HS07-002 Geheel van de conformiteitscriteria

HS07-003 Aantoonbaarheidsprincipe

HS07-004 QA/QC-programma

HS07-005: Afwijkingen bij de constructie

HS07-006 Optimalisering van de bescherming

HS07-007 Samenstelling van de vulmortel

HS07-008 Behoud van de performantie op lange termijn

HS07-009 A posteriori gecontroleerde belastingsgevallen

HS07-010 Betonsamenstelling van de verschillende betonnen componenten

HS07-011 Constructieprocedures van de monolieten

HS07-012 Technische voorschriften positionering

HS07-013 Specifieke ontwerpen

HS07-014: Seismische kwalificatie

HS07-015 IP2 Kwalificatie van de monolieten

## **1 HS07-001 Afleiden van de conformiteitscriteria**

Zoals is aangegeven in [4], vragen FANC/Bel V NIRAS om in hoofdstuk 7 voor een eerste Wetenschappelijke Raad het volgende te beschrijven:

het geheel van de vereisten die van toepassing zijn op de bergingscolli;

De oplossing(en) die wordt (worden) voorgesteld als antwoord op deze vereisten en de rechtvaardiging ervan, rekening houdend met de optimalisatieprincipes (zie ook commentaar HS07-006 hierna) en de aantoonbaarheidsprincipes.

De vertaling van deze oplossing(en) in conformiteitscriteria wanneer dit relevant is.

De wijze waarop aangetoond zal worden dat aan deze criteria is voldaan (kwaliteitszorg- en kwaliteitscontroleprogramma's).

De behandeling van de non-conformiteiten en constructieafwijkingen (zie commentaar HS07-005 hierna).

## **2 Antwoord NIRAS**

Het geheel van vereisten (ontwerpvereisten) die van toepassing zijn op de monolieten is in antwoord HS02-006 en Fiche 11 gegeven.

De oplossing(en) die als antwoord op deze ontwerpvereisten wordt (worden) voorgesteld, de rechtvaardiging ervan en de vertaling van deze oplossing(en) in conformiteitscriteria wanneer dit relevant is kunnen in de Fiche 11 teruggevonden worden.

De toepassing van het optimalisatieprincipe wordt in de fiche 10 besproken.

Het aantoonbaarheidsprincipe wordt in het antwoord HS07-003 besproken.

Specifieke ontwerpnormen en voorschriften voor de monolieten en de kwaliteitscontroles voor elk conformiteitscriteria zijn in de Fiche 11 gegeven. De conformiteitscriteria voor de bergingscolli zullen in hoofdstuk 15 opgenomen worden.

De behandeling van de non-conformiteiten en constructieafwijkingen wordt in de antwoorden op de vragen HS08-001 en HS07-005 besproken.

## **3 Aanpassing van het veiligheidsrapport**

Zie HS02-006, Fiche 11, Fiche 10, HS07-003, HS08-001 en HS07-005.

De conformiteitscriteria voor de bergingscolli zullen in hoofdstuk 15 opgenomen worden.

**1 HS07-002 Geheel van de conformiteitscriteria**

Het geheel van de conformiteitscriteria maakt wezenlijk deel uit van hoofdstuk 7, in overeenstemming met ToC §7 [2]. FANC/Bel V vragen NIRAS om voor een eerste Wetenschappelijke Raad deze criteria op te nemen in hoofdstuk 7, of in dit hoofdstuk te verwijzen naar het deel van het veiligheidsdossier dat ze bevat (momenteel gaat het om bijlage 2 van hoofdstuk 8 [3]).

**2 Antwoord NIRAS**

In paragraaf §7.2.5 wordt voor de conformiteitscriteria verwezen naar HS-08. NIRAS zal deze paragraaf aanpassen om te verwijzen naar bijlage 2 van HS-08.

**1 HS07-003 Aantoonbaarheidsprincipe**

FANC/Bel V vragen NIRAS wanneer het testprogramma van het prototype vermeld in §7.4.3 de [1] zal zijn voltooid. De planning van dit programma moet aan FANC/Bel V worden meegedeeld tegen een eerste Wetenschappelijke Raad. FANC/Bel V vragen NIRAS een kopie van referentie 21 van het document OD-131 [5]: "Project Category A – Experimental programme to demonstrate the feasibility to construct monolith at large scale, ONDRAF/NIRAS note 2012-0249 rev.".

**2 Antwoord NIRAS**

Alleen de fase 2 van de testen op de monoliet moet nog gebeuren (e.g. het stappelen van monolieten zoals vermeld in de nota ONDRAF/NIRAS 2012-0249 herz. 1). De uitvoering van deze test is voorzien begin 2016 na validatie van de referentiesamenstelling van de immobilisatiemortel die voorzien is in 2015 (Zie vraag HS07-007).

Een kopie van de nota ONDRAF/NIRAS 2012-0249 herz. 1 wordt overmaakt aan FANC.

## **1 HS07-004 QA/QC-programma**

FANC/Bel V hechten bijzonder belang aan de kwaliteitszorg en kwaliteitscontrole. Deze moeten het mogelijk maken om het respecteren van de conformiteitscriteria aan te kunnen tonen. FANC/Bel V vragen NIRAS daarom om voor een eerste Wetenschappelijke Raad de kwaliteitszorg en kwaliteitscontrole die zal gebeuren systematisch te detailleren, zodat duidelijk wordt waar, hoe, wanneer en door wie, welke zorg en controles, volgens welke regels en normen zullen gebeuren, opdat kan aangetoond worden dat aan elk conformiteitscriterium voldaan zal zijn. Het ontwikkelen van de gedetailleerde procedures kan dan in een later stadium gebeuren. Bovendien vragen FANC/Bel V NIRAS om toe te lichten welke controles er precies in §7.5.1.8 [1] worden bedoeld met "controles op de bekistingen", "controles op de onderdelen van de caissons: hijsankers, wapeningskooien, anti-opdrijfsystemen, interne houder, ... ", ... of in §7.5.2.8 [1] met formuleringen zoals "controles op de afvalcolli", "controles op de onderdelen van de monoliet, ..." "controle op de positionering van het afval, ... ", ...

## **2 Antwoord NIRAS**

Het beheer van kwaliteit is in hoofdstuk 3 beschreven (zie in het bijzonder §3.5.2 en §3.6.4). Specifiek voor de monolieten verwijzen we naar antwoord HS03-003 voor een beschrijving van de afbakening van de verantwoordelijkheden tussen NIRAS (NIRAS site Dessel) en Belgoprocess.

Een QA programma gebaseerd op 10 CFR 50 Appendix B wordt door NIRAS ontwikkeld ("Kwaliteitsborgingsprogramma, STPA/NISD-document" [1]).

Specifieke ontwerpnormen en voorschriften voor de monolieten zijn in de Fiche 11 gegeven. De controlemiddelen voor elk conformiteitscriterium zijn in Fiche 11 gespecificeerd (op basis van normen en regels wanneer van toepassing).

De sectie in §7.5.1.8 en §7.5.2.8 zullen geschrapt en vervangen worden door een verwijzing naar de conformiteitscriteria voor de monolieten en hun QC in hoofdstuk 15 (zie Fiche 11).

De activiteiten belangrijk voor de kwaliteit van SSCs van belang voor de veiligheid zullen in functioneringsgidsen, procedures, en/of instructies beschreven worden. Consistent met de vraag, zal de ontwikkeling van de gedetailleerde procedures (waar, hoe, wanneer, door wie, ...) in een later stadium gebeuren.

## **3 Aanpassing aan het veiligheidsrapport**

Zie Fiche 11.

De sectie §7.5.1.8 en §7.5.2.8 van hoofdstuk 7 zullen geschrapt en vervangen worden door een verwijzing naar de QC voorzien voor elke conformiteitscriterium voor de monolieten in hoofdstuk 15.

#### **4 Referenties**

- [1] NIROND-TR 2015-02 “Kwaliteitsborgingsprogramma STPA/NISD”, *in preparation*.

## 1 HS07-005: Afwijkingen bij de constructie

FANC/Bel V vragen NIRAS om voor een eerste Wetenschappelijke Raad de mogelijke afwijkingen bij de constructie te identificeren en de veiligheidsmarges om rekening te houden met deze mogelijke afwijkingen te omschrijven.

## 2 Antwoord NIRAS

Het antwoord HS08-001 beschrijft hoe vastgestelde afwijkingen voor de monolieten zullen behandeld worden.

De mogelijke niet-gedetecteerde afwijkingen bij de constructie van de caissons/monolieten en hun impact op de veiligheid zijn in het kader van Fiche 13 geïdentificeerd en besproken, zie:

- 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 caissons/monolieten)

Fiche 13 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 bv. 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 grootte-orde 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 antwoord HS08-001.

Het ontwerp bevat voldoende veiligheidsmarges om dit op te vangen:

- Mechanische sterkte: effect is verwaarloosbaar voor kleinschalige grindnesten (zoals deze van hogervermelde grootte-orde) en bovendien biedt de huidige

betonsamenstelling marge. Er wordt een druksterkte conform C40/50 geëist en deze wordt met het voorgestelde recept in de praktijk met marge gehaald. Zo bedroeg bij de fabricage van de prototype caissons de karakteristieke druksterkte  $f_k$  op kubus 55,2 MPa (op basis van [1]<sup>1</sup>).

- 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 HS14-001) zodat de marge groter is dan hogervermelde grootte-orde van grindnesten.
- Transporteigenschappen: bij kleinschalige grindnesten (zoals deze van hogervermelde grootte-orde) 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 (grootte-orde grindnesten 1 cm ⇔ wanddikte 122 mm).

### **3 Aanpassing aan het veiligheidsrapport**

Zie fiche 13 en vraag HS14-001.

### **4 Referenties**

- [1] THV Smet Tunneling – SOCEA, NIRAS3011D, Bepalen karakteristieke druksterkte, 2010.

---

<sup>1</sup>  $f_k = f_m - 1,64 s$  met  $f_m$  de gemiddelde druksterkte (zijnde 61,6 MPa) en  $s$  de standaarddeviatie (zijnde 3,9 MPa).



## 1 HS07-006 Optimalisering van de bescherming

De optimalisering van de bescherming door ontwerp en realisatie is in hoofdstuk 7 niet aangetoond. Het gebruik van het concept van de monoliet in gewapend beton, zijn dimensionering en de keuze van de verankeringen moeten aan dit principe voldoen. FANC/Bel V vragen NIRAS om de optimalisering van de bescherming door het concept en de realisatie aan te tonen voor een eerste Wetenschappelijke Raad. Zie in dit verband ook §2.4 van [8].

## 2 Antwoord NIRAS

De optimalisering van de bescherming door ontwerp en realisatie is in Fiche 10 “Optimalisering” beschreven.

Tijdens de optimalisatieoefening werd op systematische wijze de meest optimale van verschillende technische opties voor bepaalde SSCs bepaald. Dit gebeurde door in groepssessies voor elk van de beschouwde opties een score toe te kennen voor een reeks voorafbepaalde attributen. Op basis hiervan werd vervolgens onder andere via een multicriteria-analyse bepaald welke optie de meest optimale was (zie Fiche 10).

Er werd een lijst met te optimaliseren aspecten opgesteld. Deze lijst vormde het startpunt van de optimaliseringsoefening.

De beschouwde opties worden in wat volgt toegelicht. Wanneer gesproken wordt over 'huidige oplossing' wordt hiermee de technische oplossing bedoeld zoals beschreven in het veiligheidsrapport versie januari 2013 [1].

De opties '1.x' hebben betrekking op het type wapening van de caissons.

De opties '2.x' hebben betrekking op het al dan niet aanbrengen van een coating op de buitenzijde van de caisson.

De opties '3.x' hebben betrekking op het al dan niet galvaniseren van de hijsankers van de monoliet.

De opties '4.x' hebben betrekking op het detailontwerp van het deksel van de monoliet.

De opties '5.x' hebben betrekking op het al dan niet aanwezig zijn van mortel tussen de afvalvaten en de bodem van de caisson.

### **Optie 1.1: Klassieke wapening**

De caisson wordt gemaakt van klassiek gewapend beton, i.e. met wapeningsstaven en -netten.

### **Optie 1.2: Wapening met staalvezels**

De caisson wordt gemaakt uit staalvezelversterkt beton. Er is geen klassieke wapening aanwezig.

### **Optie 2.1: Geen coating**

Er wordt geen coating aangebracht op de buitenzijde van de caisson.

### **Optie 2.2: Coating**

Er wordt een coating aangebracht op de buitenzijde van de caisson. Doel van de coating is om CO<sub>2</sub> tegen te houden.

### **Optie 3.1: Geen galvanisatie**

De hijsankers worden niet gegalvaniseerd en zijn vervaardigd uit een 42CrMo4-legering of een materiaalsoort met gelijkwaardige eigenschappen wat mechanische sterkte en corrosiebestendigheid betreft.

**Optie 3.2: Galvanisatie**

De hijsankers worden gegalvaniseerd en zijn vervaardigd uit een 42CrMo4-legering of een materiaalsoort met gelijkwaardige eigenschappen wat mechanische sterkte betreft.

**Optie 4.1: Verzonken deksel**

Huidig ontwerp: het deksel steunt niet bovenop de wanden van de caisson maar op kolommen of een uitsparing in de wanden. Het ligt dus binnen het gabariet van de wanden. De bovenzijde van het deksel ligt enkele cm lager dan de bovenzijde van de wanden.

**Optie 4.2: Deksel dat de volledig monoliet overkapt**

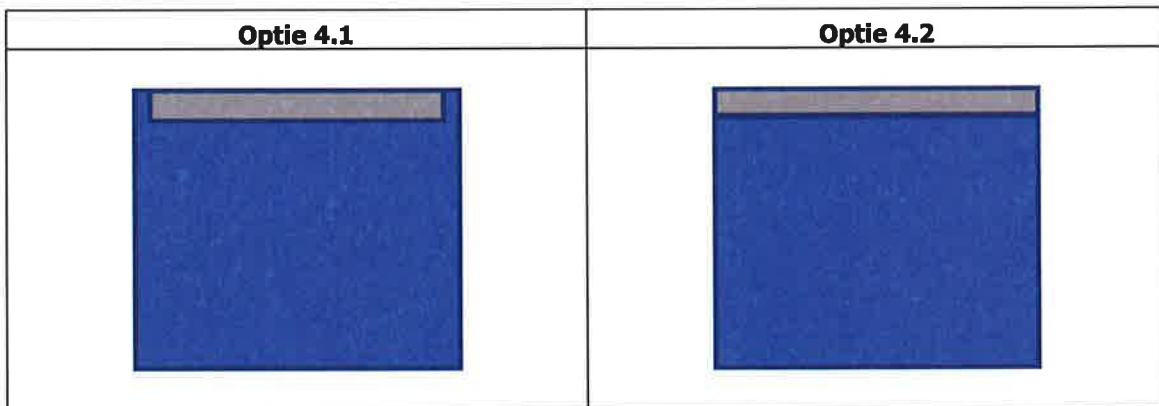
Het deksel steunt bovenop de wanden en overkapt de volledige caisson/monoliet.

**Optie 5.1: Vaten direct op de bodem van de caisson**

De vaten worden rechtstreeks op de bodem van de caisson geplaatst.

**Optie 5.2: Mortel tussen vaten en bodem van de caisson**

Er is mortel aanwezig tussen de onderzijde van de vaten en de bodem van de caisson. De detaillering van deze optie werd gedaan tijdens de groepssessie. Het plaatsen van een laag mortel in de caisson om vervolgens daarop de vaten te plaatsen werd niet beschouwd aangezien dit zou kunnen resulteren in een onregelmatig oppervlak en omdat dit een cascade-effect zou hebben op de afmetingen van: de caisson, de modules, de afdekking en de site zelf. De beschouwde optie is bijgevolg het maken van een betonnen caisson met uitsparingen ter hoogte van de vaten (of ruimer) waarna deze uitsparingen opgevuld worden (in de caissonfabriek of in de IPM) met immobilisatiemortel. De vaten worden in de IPM op de mortel geplaatst.



***Figuur 1: Schematische weergave van de beschouwde opties '4.x' voor het aspect 'monolieten'.***

## Resultaten

Tabel 1: « Monolieten »

Optie		Totaal	Perf. (som 1.1 tot 1.5)	Onzek. (3.1+4.1+4.2)	Kosten
<b>Monolieten</b>					
1.1	Klassieke wapening	71	24	20	4
1.2	Fiber-reinforced wapening	72.5	26	19	2
2.1	Geen coating	62.5	24	20	4
2.2	Coating	62.25	28	15	3
3.1	Geen galvanisatie	49	8	20	4
3.2	Galvaniseren	44	8	15	3
4.1	Verzonken dekseel	44.5	8	20	4
4.2	Dekseel die volledig monoliet overkapt	36.5	10	15	4
5.1	Direct op de vloer caisson	58.5	16	20	4
5.2	Uitsparing in caissonbodem, opgevuld met mortel	59.5	18	18.5	2-3

**Opties 1.1 tot en met 1.2**

Het gebruik van vezelbeton voor de caissons verbetert de performantie vergeleken met een klassiek gewapend beton. Zo zal er een toename zijn in de bijdrage voor veiligheidsfunctie 2a, maar zal vooral de duurzaamheid van het beton er sterk op vooruit gaan. De carbonatatie en de daaropvolgende corrosie hebben door het gebruik van vezelversterkt beton geen invloed meer op de levensduur van de caisson (hoewel carbonatatieprocessen bepalen de levensduur van de monolieten niet, zie HS14-001).

Monolieten vervaardigd uit vezelbeton zouden bovendien een grotere weerstand hebben tegen aardbevingen dan monolieten vervaardigd uit klassiek gewapend beton. Optie 1.2 zou bijgevolg een robuuster eindproduct leveren dan optie 1.1.

Desalniettemin bestaan er vandaag de dag nog grote onzekerheden in het productieproces van vezelversterkt beton en op het gedrag van dit beton op lange termijn. Het gebruik van vezelversterkt beton is vandaag de dag ook minder courant dan het gebruik van klassiek gewapend beton.

**Optie 1.1** wordt daarom momenteel toch beschouwd als de beste optie.

Indien de onzekerheden over de productie en het behoud van de performantie op lange termijn over vezelversterkt beton (of een hybrideoplossing met een combinatie van gewapend en vezelversterkt beton) in de toekomst gereduceerd kunnen worden, zou dit type beton alsnog gebruikt kunnen worden. Optie 1.2 zal daarom zowel op technisch als op financieel vlak verder onderzocht worden (het gebruik van vezelversterkt beton zou in deze fase extra kosten met zich mee kunnen brengen, doch de exploitatiekosten later zouden mogelijks gereduceerd kunnen worden)

**Optie 2.1 tot en met 2.2**

Optie 2.2 levert betere prestaties : het gebruik van een coating om het CO2 tegen te houden heeft een significante bijdrage aan veiligheidsfunctie R2a. Deze coating bestaat bovendien uit een ander type materiaal, wat positief is gegeven het feit dat er hierdoor verschillende complementaire barrières aanwezig zijn.

De coating draagt bovendien ook bij aan de levensduur van de monolieten daar carbonatatieprocessen gereduceerd wordt. De totale impact op de levensduur van de monolieten blijft echter wel beperkt daar de carbonatatiesnelheid niet de meest beïnvloedende factor is op de levensduur van de monolieten (HS14-001).

Het gebruik van een extra coating kan echter ook bijkomende onzekerheden met zich meebrengen; zo kan de migratiesnelheid van de radionucliden (door de potentiële complexvorming) beïnvloed worden. Omwille van die reden wordt optie 2.1 als de meest optimale oplossing beschouwd.

***Optie 3.1 tot en met 3.2***

De opties 3.1 tot en met 3.2 leveren een eindproduct met gelijke performantie. Vandaag de dag kan de goede weerstand tegen atmosferische corrosie van de hijsankers reeds waargenomen en bevestigd worden op de testmonolieten die reeds geproduceerd zijn (optie 3.1).

De levensduur van de hijsankers kan beperkt zijn tot op het moment waarop de terugneembaarheid gewaarborgd moet blijven. Optie 3.1 garandeert in dat licht een voldoende duurzaamheid van de hijsankers (zie [OD-131]).

***Opties 4.1 tot en met 4.2***

De optie 4.2 heeft een betere performantie: door een deksel te voorzien dat de monoliet volledig overkapt kan er op geen enkele wijze water infiltreren tussen het deksel en de bovenkant van de caisson, iets wat bij optie 4.1 niet volledig uitgesloten kan worden.

Het is echter veel moeilijker een correcte opvulling van de monolieten met mortel te garanderen met optie 4.2 (De overloop van de mortel doorheen het deksel zoals voorzien in het huidige ontwerp is niet mogelijk met optie 4.2). Mechanische belasting zou in dat geval bovendien niet enkel overgebracht worden via de caissons, maar ook door de mortel en het afval. In geval van slechte opvulling van de monolieten met mortel, kunnen op die manier de deksels van de caissons beschadigd geraken. Bovendien is het mogelijk dat de deksels hierdoor niet perfect horizontaal liggen, wat het plaatsen van de monolieten en de stapeling ervan in de modules van de berging bemoeilijkt.

Omwille van bovenstaande redenen wordt optie 4.1 daarom beschouwd als de meest optimale. De robuustheid van optie 4.2 is minderwaardig aan die van optie 4.1 en bovendien zijn de onzekerheden met betrekking tot de uitvoering van het ontwerp minder belangrijk.

***Opties 5.1 tot en met 5.2***

Optie 5.2 zou mogelijks een iets betere performantie kunnen hebben in vergelijking met optie 5.1 (vertraagde diffusie, extra sorptie en betere bescherming van de caisson tegen potentieel agressieve stoffen die zich in het afval bevinden). Deze mogelijke verbetering is echter niet voldoende significant.

Bovendien levert de uitvoering van optie 5.2 meer onzekerheden op dan de uitvoering van optie 5.1 en creëert ze extra moeilijkheden (een goede plaatsing van de colli in de caissons moet te allen tijde verzekerd zijn).

Optie 5.1 wordt daarom beschouwd als de meest optimale.

### **3 Aanpassing aan het veiligheidsrapport**

De tekst van HS07-006 zal in hoofdstuk 7 toegevoegd worden.

#### **4 Referentie**

- [1] NIRAS, Vergunningsdossier voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel, 2013

## **1 HS07-007 Samenstelling van de vulmortel**

FANC/Bel V vragen NIRAS de referentieoplossing voor de samenstelling van de vulmortel van de monolieten, evenals de afwijkingstoleranties op deze samenstelling. FANC/Bel V vragen om hierbij geen kwartszand te gebruiken (zie §7.3.5 p 7-11). FANC/Bel V vragen dat NIRAS zich verzekert van het feit dat de gebruikte materialen niet kunnen bijdragen tot het ontstaan van mogelijke alkali-granulaatreacties, rekening houdend met de substanties die in het afval kunnen voorkomen.

## **2 Antwoord NIRAS**

### **2.1. Referentiesamenstelling van de immobilisatiemortel van de monoliet**

De referentiesamenstelling van de immobilisatiemortel van de monoliet is in ontwikkeling. Een samenstelling (SFFC3) werd opgesteld door het WTCB-CSTC [WTCB 1]. In parallel met een sensitiviteitsstudie (zie verder) werd deze na enkele beproevingen op groter volume licht bijgestuurd door Belgoproces [BP]. Dit resulteerde in volgende samenstelling (IPM1) die momenteel in een uitgebreider programma door IETcc verder wordt gekarakteriseerd. (Het belangrijkste verschil tussen SFFC3 en IPM1 is de grootte van de zandfractie). Vandaag is deze samenstelling, IPM1 de referentiesamenstelling.

Van deze samenstelling, IPM1 (vandaag de referentie, zie onderstaande tabel) bestaan er bovendien twee varianten: één met een vloeibare superplastificeerder en één met een superplastificeerder in droge vorm, beiden met een gelijkaardige chemie (N/S Naftaleen/Sulfonaat). Tevens wordt aanvullend bij IETcc bestudeerd of de krimp van de mortel verminderd kan worden door het toevoegen van TETRAGUARD.

Alle componenten van deze samenstelling kunnen verder geoptimaliseerd worden gebaseerd op feedback van de hogervermelde proefprogramma's en in latere fase rekening houdend met de technische specificaties van de uitrustingen en de processen die zullen gebruikt worden tijdens de constructie van de monolieten.

Het is onmogelijk om vandaag, zonder een IPM en zonder dat alle aangehaalde studies ten einde zijn, alle mogelijke aanpassingen aan de mortel reeds te voorzien. A priori denkt men hierbij onder meer aan het gebruik van andere, doch gelijkaardige ruwe grondstoffen (CEM III/B ipv CEM III/C in geval van bijvoorbeeld schaarste op de cementmarkt, andere leverancier of types, bijkomende dosering van extra hulpstoffen, etc) alsook mogelijk kleine wijzigingen in de verhoudingen van de dosering of granulometrie.

Binnen de grenzen bepaald door de sensitiviteitsstudie, is er geen nieuwe karakterisatie noodzakelijk (Zie §2.3). Indien optimalisatie zou leiden tot een samenstelling buiten deze grenzen zijn bijkomende karakterisatie en sensitiviteitsstudies noodzakelijk. Elke samenstelling zal voldoen aan de volgende

criteria: minimum gehalte cement (350 kg/m<sup>3</sup>), sulfaat resistente cement, geen complexerende stoffen die niet gekwalificeerd zijn.

***Samenstelling van mortel IPM1 (variant met SP in droge vorm)***

<b>Product</b>	<b>Dosering (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CEM III/C 32,5N	637.21
Condensil S 95DS (silicafume)	39.01
Calcitec 2001 M (kalksteenmeel)	101.09
Melcret 500F (naftaleen sulfonaat)	6.37
Kalksteen < 100 µm	90.75
Kalksteen 0,1 mm – 0,5 mm	403.98
Kalksteen 0,5 mm – 1 mm	299.30
Kalksteen 1 mm – 2 mm	412.34
Water	228.76

***Samenstelling van mortel IPM1 (variant met SP in natte vorm)***

<b>Product</b>	<b>Dosering (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CEM III/C 32,5N	637.21
Condensil S 95DS (silica fume)	39.01
Calcitec 2001 M (kalksteenmeel)	101.09
Melcret 500L (silica fume)	16.00
Kalksteen < 100 µm	90.75
Kalksteen 0,1 mm – 0,5 mm	403.98
Kalksteen 0,5 mm – 1 mm	299.30
Kalksteen 1 mm – 2 mm	412.34
Water	219.16

## 2.2. Kwartszand en alkali-granulaat reacties (ASR)

In de huidige samenstelling (IPM1, zie tabel), vandaag de referentie, is geen kwartszand geïncorporeerd. Maar, 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 kalksteenzand 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 m% 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. (Zie verder). In geval kwartszand geïncorporeerd wordt zal er een justificatiedossier ingediend worden bij FANC/Bel V, met daarin specifieke gegevens zoals de betrokken korrelgroottes van het zand die zullen worden vervangen, referenties van resultaten van tests, methodes die gebruikt zullen worden om de materialen te selecteren, QA/QC programma en frequentie van testen in de tijd etc.

Deze keuze van materialen maakt dat de resulterende mortel, zelfs met eventueel gebruik van een beperkte hoeveelheid siliciumzand, ongevoelig is voor eventuele interne bronnen van alkaliën tot ASR. Niet alleen is het siliciumzand van uitermate goede kwaliteit (zie 2.2.1), ook het gebruikte bindmiddel (CEM III/C (referentie) of /B (alternatief)) met een toevoeging van silicafume minimaliseert verder dit risico. Dit omdat het gebruikte cement gekend staat om een mitigerend effect te hebben op ASR. Het is immers zo dat de gevormde CSH-fasen van dit cement een grote capaciteit hebben om alkaliën te adsorberen, waardoor de hoeveelheid (concentratie) aan alkaliën in het poriewater sterk vermindert. Bovendien stelt de hydratatiereactie van dit type cement slechts een beperkte hoeveelheid portlandiet vrij.

Het gebruikte silicafume (condensil) werd toegevoegd uit rheologische overwegingen, maar een dergelijk materiaal staat eveneens bekend ASR te beperken. Silicafume, 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.

Daar alkaliën in het poriewater nodig zijn om ASR te ontwikkelen en het daarbij resulterende schadepatroon (scheuren, zwellings) enkel optreedt in aanwezigheid van portlandiet (De precieze rol van portlandiet in de zwellings van beton dat meestal met ASR gepaard gaat, en de uiteindelijke schade verricht, staat nog ter discussie, maar consensus is er wel over de noodzaak van de aanwezigheid van portlandiet hiervoor) maakt dit dat ASR ten gevolge van een interne alkalibron (zoals bv cement, vervuilingen,...) volledig uit te sluiten is.

Alkaliën die eventueel via externe bronnen na uitharding van de mortel in contact komen met dit materiaal (bv alkaliën uit het afval of van insijpelend water) zullen



zelfs met eventueel gebruik van een beperkte hoeveelheid siliciumzand niet tot schadereacties leiden aangezien het gebruikte siliciumzand van hoge kwaliteit is. De omstandigheden aan dewelke het zand werd onderworpen tijdens beproeving (1 tot 2,5 N NaOH) zijn immers dermate streng dat ze zeer conservatief zijn tot dit scenario. Daarbij blijft het portlandietgehalte van het mortelmengsel minimaal waardoor een schadepatroon ten gevolge van een eventuele ASR niet te verwachten is. De lage water tot cementfactor van ongeveer 0,35 beperkt bovendien de permeabiliteit van het mengsel waardoor een eventuele indringing van alkali sterk bemoeilijkt wordt en zich hoofdzakelijk zal beperken tot eventuele aanwezigheid in gevormde scheuren, waar de mortel reeds niet meer intact is.

Dit maakt dat NIRAS/ONDRAF de zin waarnaar FANC verwijzing maakt (HS-07 §3.7.5 “hoewel een bepaalde verhouding kwartzand wordt toegelaten”) op basis van bovenstaande argumenten wenst te behouden.

### 2.3. Kritische keuze van het kwartzand en de beproevingen:

Indien ooit kwartzand gebruikt wordt zal het aan proeven onderworpen worden die op conservatieve wijze moeten uitsluiten dat het zand mogelijk gevoelig is voor een alkali silica reactie (ASR). Hiervoor stelt NIRAS/ONDRAF beproevingen voor, gebaseerd op veeleisende en bestaande normen (ASTM C 1260 en ASTM C 1293). Het gebruikte zand moet slagen voor beide soorten beproevingen.

ASTM C 1260. Deze Amerikaanse norm staat bekend als zeer conservatief, regelmatig worden granulaten door deze norm bestempeld als reactief terwijl ze een vlekkeloze gebruiksgeschiedenis hebben. In deze test wordt een gestandaardiseerde mortel (1 deel cement, 2.25 delen zand, 0.47 delen water) aangemaakt op basis van portlandcement. Na uitharden en een korte nabehandeling in leidingwater worden drie mortelprisma's (25 x 25 x 285 mm<sup>3</sup>) onderworpen aan een 1 N NaOH oplossing bij 80°C terwijl hun dimensionele variatie regelmatig wordt opgemeten. Het zand wordt als “inactief” (*innocuous*) bestempeld indien de gemiddelde dimensionele variatie na 14 dagen blootstelling minder dan 0.10% bedraagt. De totale testprocedure duurt 16 dagen.

In de normatieve beschrijving van deze proef zijn enkele modaliteiten opgenomen die het mogelijk bemoeilijken deze proef conform de letter uit te voeren. Het is dus mogelijk dat lichte afwijkingen zullen optreden zoals bijvoorbeeld het cementtype dat beschreven wordt met een Amerikaanse norm. Deze afwijkingen zullen gerechtvaardigd worden en niet resulteren in een significante variatie van het eindresultaat.

ASTM C 1293. De test beschreven in deze Amerikaanse norm wordt vaak in combinatie met bovenstaande uitgevoerd. De test staat toe grove granulaten, fijne granulaten (zanden) en combinaties van deze met een bindmiddel te testen tot hun gevoeligheid vis-à-vis ASR. Wij beogen deze test uit te voeren op het siliciumzand (niet op een combinatie van het bindmiddel met het siliciumzand). Hiertoe zal, zoals

beschreven in de norm, een beton aangemaakt worden bestaande uit portlandcement, niet-reactieve grove granulaten (waarschijnlijk kalksteengranulaten, voorafgaand beproefd via ASTM C 1260), portland cement, water, het siliciumzand, een oplossing van natriumhydroxide om het alkali gehalte op het beoogde niveau te brengen, en indien nodig hulpstoffen voor het verkrijgen van een correcte reologie. Dit beton wordt gedurende één jaar op 38°C bewaard in vochtige omstandigheden. Wanneer de expansie na één jaar kleiner is dan 0,04% slaagt het siliciumzand voor deze test.

Ook in de normatieve beschrijving van deze proef zijn enkele modaliteiten opgenomen die het mogelijk bemoeilijken deze proef conform de letter uit te voeren. Het is dus mogelijk dat lichte afwijkingen zullen optreden zoals: het cementtype (afwijkend alkali gehalte) of de korrelverdeling van het zand. Deze afwijkingen zullen gerechtvaardigd worden en niet resulteren in een significante variatie van het eindresultaat.

#### **2.4. Toegelaten toleranties op de mortelsamenstelling**

In het kader van de ontwikkeling van de doseerinstallatie werden de toegelaten afwijkingen op mortel SFFC3 beproefd door WTCB-CSTC op basis van een sensitiviteitsstudie. Daaruit bleek dat voor meeste bestanddelen zoals kalksteenmeel, cement en silicafume, de algemene betonnorm EN 206-1 voldoende nauwkeurig is en bijgevolg wordt deze norm toegepast voor deze bestanddelen. De waterdosering blijkt hier echter de meest kritische parameter te zijn waardoor deze dosering mogelijk nauwkeuriger dient te gebeuren dan de toegelaten toleranties in deze norm [WTCB 2]. NIRAS/ONDRAF zal hierdoor extra aandacht besteden aan een correcte waterdosering aan deze mortel en waar nodig extra maatregelen nemen tijdens het ontwerp en de bouw van de installatie en exploitatie van de IPM. De tolerantie zal voor de oplevering van IPM vastgelegd worden.

Voor de levering van de desbetreffende onderdelen v.d. IPM (bv doseerinstallatie) zullen de precieze afwijkingstoleranties vastgelegd worden op een finaal mortelmengsel en/of een mortelmengsel zal gevalideerd worden met de doseerafwijkingen van de IPM.

### **3 Aanpassing van het veiligheidsrapport**

NIRAS stelt voor om deze referentiesamenstellingen en de toleranties op deze referentiesamenstelling (via overname van de toleranties uit EN 206-1) toe te voegen in Hoofdstuk 7 van het veiligheidsrapport.

Alle wijzigingen buiten de toegelaten toleranties die betrekking hebben op de samenstelling van de immobilisatiemortel van de monolieten zullen aan het wijzigingsproces onderworpen worden binnen het kader van de door de reglementen en veiligheidsautoriteit vastgelegde wijzigingspolitiek.

#### **4 Referenties**

- [BP] BELGOPROCESS, Optimalisatie mortelformule SFFC3 tot IPM1, UBT/2012-03063 (27/09/2012)
- [WTCB 1] WTCB-CSTC, Proefverslag 3 2de versie, DE65092004 (25/10/2010)
- [WTCB 2] WTCB-CSTC, 26/09/2012 (Ref WTCB-CSTC: 300/54753/JPI/KCA),  
Sensitiviteitsstudie op mortel: conclusie, Brief van Julie Piérard aan Erik  
Coppens

## 1 HS07-008 Behoud van de performantie op lange termijn

De hijsankers zijn rechtstreeks blootgesteld aan de omgevingsomstandigheden. FANC/Bel V vragen NIRAS waarop de keuze van het materiaal van deze verankeringen gebaseerd is. FANC/Bel V vragen NIRAS bovendien om na te gaan of de potentiële corrosie van het gekozen materiaal niet zal bijdragen tot het vroegtijdig barsten van de monolieten (d.w.z. vóór de terugtrekking van de nucleaire reglementaire controle).

## 2 Antwoord NIRAS

### 2.1. Keuze van het materiaal van de hijsankers

#### 2.1.1 Vereisten

De vereisten voor de hijsankers zijn:

- de sterkte van de hijsankers van de monolieten moet de krachten tijdens het hijsen weerstaan;
- de corrosie van de hijsankers van de monolieten moet beperkt blijven om
  - niet bij te dragen aan het vroegtijdig mechanisch beschadiging van de monolieten (tijdens de reglementaire controlefase)
  - te garanderen dat voldoende staal sectie overblijft om de terugneembaarheid te garanderen

#### 2.1.2 Het ontwerp

##### *Mechanische weerstand*

De hijsankers werden ontworpen op basis van de Belgische norm NBN E52-001/2 voor hijswerktuigen en volgens de NUREG-0554-reglementering voor *Single-Failure-Proof cranes for nuclear power plants* (men neemt dus aan dat twee diagonale hijsankers bestand zijn tegen drie keer de lading van de zwaarste monoliet binnen het beschouwde monoliettype).

In het ondersteunende document NIROND-TR2011-63 EV2 [OD-131] worden twee staalkwaliteiten in aanmerking genomen: een *koolstofstaal* S450 (*yield strength*: 430 MPa) en een *licht gelegeerd staal* (42CrMo4-staal) (*yield strength*: 750 MPa). De nodige sterkte van de hijsankers worden vermeld in de volgende tabel (Table 28 van bijlage 1 van [OD-131] afhankelijk van de doorsnede van de hijsankers (hijsankers in U-vorm met een vierkante doorsnede van 35\*35 mm of 40\*40 mm).

Max Von Mises stress (Mpa)		LC1		LC2		LC3	
		35mm		35mm	40mm	35mm	40mm
Type I	:15T	< 202 Mpa		170	126	511	378
Type II	:16.8T			191	141	573	424
Type III	:24.3T			276	204	829	613
Allowable stress	S450	287	287	287	287	430	430
	42CrMo4	500	500	500	500	750	750

De conclusie is dat beide staalwaarden gebruikt kunnen worden voor Type I- en Type II-Monolieten. Voor Type III-Monolieten kan alleen 42CrMo4 gebruikt worden.

### Corrosie

CEA [OD-225] en IETcc [IETcc] hebben onafhankelijk van elkaar evaluaties gemaakt van de atmosferische corrosiesnelheid van het koolstofstaal en het licht gelegeerde staal 42CrMo4.

- ☒ Volgens de gegevens van CEA en IETcc over *koolstofstaal*, variëren de corrosiedieptes van 30 tot 2500 µm na een periode van 300 jaar. Verwacht wordt dat dit minder dan 1 mm zal bedragen in een atmosfeer van ongeveer 85% RH gedurende 300 jaar.
- ☒ Voor het *geselecteerde licht gelegeerde staal* (42CrMo4-staal) worden corrosiedieptes van minder dan 150 µm gerapporteerd.

Om voldoende dikte te houden voor manutentie gedurende de nucleaire reglementaire controlefase werd een corrosiedikte van 500 µm beschouwd in de vorige studies [STIE]. Voor deze studies was er nog geen rekening gehouden met de NUREG-0554-reglementering. In de studie [OD-131] werd deze bijkomende corrosiedikte niet in detail beschouwd omdat:

- ☒ het ontwerp volgens NUREG-0554 voorziet in een totale veiligheidsfactor van 3,45 tijdens de exploitatie [OD-131]. In geval van omkeerbaarheid moet het hijsstelsel echter niet SFP zijn;
- ☒ het verlies van dikte door atmosferische corrosie gedurende 300 jaar (tot 2200 µm) de optionele recuperatie van de monolieten mogelijk maakt.

### 2.1.3 Conclusie: Keuze van het materiaal van de hijsankers

Op basis van deze conclusies en aangezien de corrosiesnelheid van het licht gelegeerde staal 42CrMo4 lager is dan de referentiewaarde van 500 µm voor 300 jaar, werd het licht gelegeerde staal gekozen voor de hijsankers van de Type I, II en III-monolieten. Het gekozen staal voldoet namelijk aan de vereisten.

### 2.2. Impact van de corrosie van het gekozen materiaal

Zie antwoord op de vraag HS05-004.

### **3 Referentie**

- [OD-131] ONDRAF/NIRAS, Detailed design monoliths, NIROND-TR 2011-63 EV2 (30/11/2012)
- [OD-225] ONDRAF/NIRAS, Evaluation des vitesses de corrosion atmosphérique d'un acier peu allié, NIROND-TR 2011-72 F V1 (09/02/2011)
- [STIE] Rapport STIE "Impact de la corrosion sur le dispositif d'arrimage des monolithes", 166NT8910ECI, 1998
- [IETcc] C. Andrade, Report for describe the mechanism and risk of corrosion of the lifting anchors of the monoliths, Report n° CISDEM - 44 III, 2014

## 1 HS07-009 A posteriori gecontroleerde belastingsgevallen

Sommige belastingsgevallen worden a posteriori gecontroleerd, zoals is aangegeven op p. 7-15 van [1]. FANC/Bel V vragen NIRAS wanneer en hoe dit zal gebeuren. De planning van deze controles moet worden meegedeeld voor een eerste Wetenschappelijke Raad. FANC/Bel V vragen NIRAS hoe rekening zal worden gehouden met mogelijk onbevredigende resultaten van deze tests.

## 2 Antwoord

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 (Zie HS07-003).

De huidige resultaten ervan tonen aan dat het design voldoet. Indien desondanks in de toekomst onbevredigende resultaten bekomen worden 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.

De belastingsgevallen waarvan sprake zijn hieronder opgelijst :

Thermische belasting (hydratatie van de immobilisatiemortel);

Het effect van zwellen van de mortel door de eventuele aanwezigheid van een expansief reagens;

Dynamische belasting van het vallen van een hoogte die in de reglementering betreffende IP-2 transportverpakking vermeld is.

De belastingsgevallen worden een voor een hieronder besproken.

### 2.1. Thermische belasting immobilisatiemortel

De temperatuurstijging tijdens de hydratatie van de immobilisatiemortel werd proefondervindelijk vastgesteld. Tijdens het prototype-programma werden 2 caissons gevuld met een mortel met een vergelijkbaar hydratatiegedrag<sup>2</sup>. De maximaal bereikte temperatuur was 51°C (§6 van annex 5 aan [2]) 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 [2]), wat aantoont dat de hydratatie van de mortel geen mechanische schade veroorzaakt heeft.

Om dit belastingsgeval formeel af te dekken worden tevens bijkomende testen ter bevestiging voorzien. NIRAS zal dit aspect controleren wanneer de resterende prototype-caissons gevuld zullen worden met de referentie-immobilisatiemortel (zie vraag HS07-007). Dit zal gebeuren in het kader van de upscaling-tests die gepland zijn

---

<sup>2</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 vraag HS07-007). 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).

in het ontwerp van de doseerinstallatie van IPM, een opdracht die zal starten in het najaar van 2014. Het vullen van de prototypes is bijgevolg gepland midden 2015. Volgende acties zullen daarbij genomen worden:

- Meten van de hydratatie-temperatuur in de prototypes om de vroegere metingen te bevestigen.
- Visuele inspectie van de caisson/monoliet voor en na het vullen.
- Op basis van de gegevens kan een modelberekening uitgevoerd worden van de mechanische impact van de opwarming op de betonnen caisson.

## **2.2. Effect van zwellen van de mortel**

De referentiesamenstelling van de mortel vertoont geen zwellingsgeval voor deze samenstelling niet relevant is.

Zoals vermeld in HS07-007 wordt bij IETcc bestudeerd of de krimp van de mortel verminderd kan worden door het toevoegen van TETRAGUARD. In deze testen wordt het krimp/zwellingsgedrag van de mortel opgemeten. Indien dit (of een soortgelijk) product daadwerkelijk toegepast wordt, kan op basis van het voorgaande een modelberekening uitgevoerd worden om te verifiëren of de mechanische invloed op de caisson aanvaardbaar is. Bovendien zullen – vooraleer deze samenstelling toe te laten – prototype monolieten gemaakt worden om de impact proefondervindelijk vast te stellen.

## **2.3. Dynamische belasting (IP-2)**

In het kader van de prototype testen werden diverse valtesten uitgevoerd, o.a. valtesten zoals vereist door de transportregelgeving van het IAEA [3]. Deze valtesten waren succesvol zodat dit belastingsgeval geverifieerd is (zie §2.5 van [2]).

## **3 Referenties**

- [1] Hoofdstuk 7 – Ontwerp en constructie van de bergingscolli, NIROND-TR 2011-07 N V2
- [2] NIRAS, 2012, Prototype test programme, ref. 2012-0249 rev.1, 07/02/2014.
- [3] IAEA, 2009, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Safety Requirements No. TS-R-1.



## **1 HS07-010 Betonsamenstelling van de verschillende betonnen componenten**

FANC/Bel V vragen NIRAS voor de eerste Wetenschappelijke Raad de referentieoplossing voor de samenstelling van de betonnen componenten van de monoliet, evenals de afwijkingstoleranties op deze samenstelling, te geven (dit wordt niet gedaan in hoofdstuk [1]).

## **2 Antwoord NIRAS**

De referentiesamenstelling voor de betonnen componenten van de monoliet wordt besproken in het antwoord op vraag HS08-008.

In dit antwoord wordt eveneens de sensitiviteitsstudie besproken die uitgevoerd werd op deze samenstelling [OD-134]. 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 260-1.

De referentiesamenstelling voor de vulmortel wordt besproken in HS07-007.

## **3 Referenties**

[1] ID 011: Formulation Concrete Note - 2007-1876

[OD-134] ONDRAF/NIRAS, Gevoeligheidsstudie van beton NIROND-TR 2011-74 N V1 (21/01/2011)

## **1 HS07-011 Constructieprocedures van de monolieten**

FANC/Bel V aanvaarden dat de procedures voor de constructie van de monolieten kunnen worden bepaald door derde partijen, voor zover ze leiden tot monolieten die voldoen aan de conformiteitscriteria. NIRAS moet er minstens voor zorgen dat de procedures toegepast door deze derde partijen de naleving van de conformiteitscriteria garanderen. FANC/Bel V vragen NIRAS voor een eerste Wetenschappelijke Raad hoe het de uitvoering van een kwaliteitszorg- en kwaliteitscontroleprogramma zal garanderen, zodat derde partijen de conformiteitscriteria zullen naleven. Het enkel bevestigen dat dit punt zal worden opgenomen in een acceptatiesysteem van NIRAS is niet voldoende. FANC vraagt een uitgewerkte beschrijving van het op te zetten programma. Verder vragen FANC/Bel V ook nog om te expliciteren wie de keuze/selectie van de gebruikte materialen zal maken.

## **2 Antwoord NIRAS**

Zoals vermeld in hoofdstuk 15, §15.8.1, zal het systeem van erkenning in het KB van 18 november 2002 ‘Regeling van de Erkenning van Uitrustingen bestemd voor Opslag, Verwerking en Conditionering van Radioactief Afval’ ook in de context van de berging toegepast worden. Op basis ervan voerde NIRAS een systeem in van erkenningen van de procedés en gebruikte uitrustingen en methodologiën bij de producenten en/of conditioneerders. Met andere woorden; elke monoliet zal moeten geproduceerd zijn volgens een erkend eindconditioneringsprocedé en het erin vervatte radioactief afval zal moeten gekarakteriseerd zijn met een erkende uitrusting en volgens een erkende methodologie. De technische en organisatorische maatregelen voor de bergingscolli die door NIRAS in hoofdstuk 7 gedefinieerd werden (§7.5), zullen als basis voor de erkenning gebruikt worden, zowel als de conformiteitscriteria voor de bergingscolli (zie Bijlage II van HS08 en HS015). Met deze erkenningen wil NIRAS zich er van verzekeren dat, inter alia, het eindconditioneringsprocedé uitgevoerd wordt aan de hand van procedures die waarborgen dat de overeenstemming van de bergingscolli met de conformiteitscriteria op een overtuigende manier aangetoond kan worden.

NIRAS verwijst naar hoofdstuk 15, §15.8.1 voor de details rond de principes van het erkenningsysteem dat zal toegepast worden. Details rond de nodige erkenningen zijn in hoofdstuk 15, §15.8.2 en §15.8.3 gegeven.

Zoals vermeld in het antwoord op de vraag HS15-014 zal NIRAS voor wat betreft de beschrijving van de achtergrond van de vereiste erkenningen grotendeels naar Hoofdstuk 3 verwijzen. Aldus zouden de beschrijvende gedeeltes in §15.8.1.1 en §15.8.2, op een korte paragraaf na, vervangen worden door een verwijzing naar Hoofdstuk 3.

De materialen die zullen gebruikt worden zijn in conformiteitscriteria opgenomen (zie Bijlage II van hoofdstuk 8) en het erkenningsysteem zal zorgen voor de

overeenstemming met de conformiteitscriteria. Bovendien, zoals verplicht in art. 5 van het KB van 18 november 2002 :

“[...]

§ 2. De exploitant moet op stelselmatige en geordende wijze een beschrijvende en rechtvaardigende documentatie bijhouden van zijn uitrustingen en het bijhorende kwaliteitssysteem. Deze documentatie moet, onder meer in de vorm van maatregelen, procedures en schriftelijke instructies, een eenvormige interpretatie toelaten van de programma's, plannen, handleidingen en kwaliteitsdossiers. Zij omvat, in het bijzonder, een passende beschrijving:

[...]

4° van de onderzoeken, de staalnamen en proeven die zullen uitgevoerd worden, onder meer op de grondstoffen, op het niet- geconditioneerd en geconditioneerd afval dat moet beantwoorden aan de respectieve op hen toepasselijke acceptatiecriteria, met inbegrip van de metingen van de activiteit van de colli radioactief afval, vóór, tijdens en na de verwerking en conditionering, en van de frequentie waarmee zij zullen plaatsvinden;

[...].”

### **3 Aanpassing aan het veiligheidsrapport**

NIRAS zal in hoofdstuk 7, §7.5 “Productie van bergingscolli” de nodige erkenning van de procedés en gebruikte uitrustingen en methodologiën bij de producenten en/of conditioneerders vermelden en zal naar de sectie van hoofdstuk 3 en van hoofdstuk 15 voor de details rond de nodige erkenningen verwijzen.

## **1 HS07-012 Technische voorschriften positionering**

NIRAS stelt in §7.5.2.2: "Dit zonder de primaire colli, of de caissons te beschadigen, en rekening houden met de technische voorschriften voor hun positionering in de caissons".

FANC/Bel V vragen NIRAS wat de aard of de referenties zijn van deze technische voorschriften.

## **2 Antwoord**

Deze technische voorschriften zijn:

- elk van de ingebrachte colli (inclusief de grijper tijdens het inbrengen) moet binnen het gabarriet 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 (§15.3.5 van [1]). 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 [2]. Voor de monolieten waarin 4 400-l vaten of 5 220-l vaten ingebracht worden is vooral de selectie van de vaten die gecombineerd worden van belang aangezien er slechts minieme verschillen mogelijk zijn van de posities van de colli in de caisson. In [2] wordt ook aangetoond dat voor de minimale en maximale gewichten van de huidige colli ruimschoots aan dit criterium voldaan wordt voor de configuraties met 400-l vaten en 220-l vaten. In de Type II-caissons waarin slechts 1 vat geplaatst wordt, moet de positie van het collo t.o.v. het centrum van het grondvlak van de caisson zodanig zijn dat aan bovenvermeld criterium voldaan is. Voor Type III monolieten is dit eveneens van toepassing. In [2] werden als inputgegevens voor de geometrie, massa, ... van de monoliet gegevens gebruikt van een vorige versie van het monolietontwerp. Daarom werd in [3] nagegaan of de maximale excentriciteit gerespecteerd blijft voor het ontwerp uit het ingediende veiligheidsrapport [4]. 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.

## **3 Aanpassing aan het veiligheidsrapport**

Voorgaande technische voorschriften zullen in het veiligheidsrapport toegevoegd worden.

## **4 Referenties**

- [1] Hoofdstuk 15 – Conformiteitscriteria voor bergingscolli, NIROND-TR 2011-15 N V2

- [2] TRACTEBEL ENGINEERING SUEZ, Monolith handling gripper – Design strength verification, TS023-NTE-3-001, Mars 2010.
- [3] TRACTEBEL ENGINEERING SUEZ, Evaluation of the maximal eccentricity of Type III monolith loading, HS07-012 TS312-NTE-1-001, January 2013.
- [4] Hoofdstuk 7 – Ontwerp en constructie van de bergingscolli, NIROND-TR 2011-07 N V2.

**1 HS07-013 Specifieke ontwerpen**

FANC/Bel V vragen NIRAS om voor een eerste Wetenschappelijke Raad een volledige lijst voor te leggen van de reeds gekende ontwerpaanpassingen die momenteel worden vooropgesteld voor bepaalde fluxen of afvalcolli in §7.3.6 [1]. FANC/Bel V vragen NIRAS om de aanpassingen te beschrijven die werkelijk zullen worden geïmplementeerd, zeker voor het afval met een hoog chloorgehalte (voor monolieten die ze zouden bevatten alsook voor de componenten in de buurt van deze monolieten in de modules, die kunnen worden aangetast door deze hoge chloorconcentratie).

**2 Antwoord NIRAS**

Vandaag de dag is er geen andere monoliet voorzien.

Zie ook het antwoord op vraag HS15-005 voor chloride houdende afval.

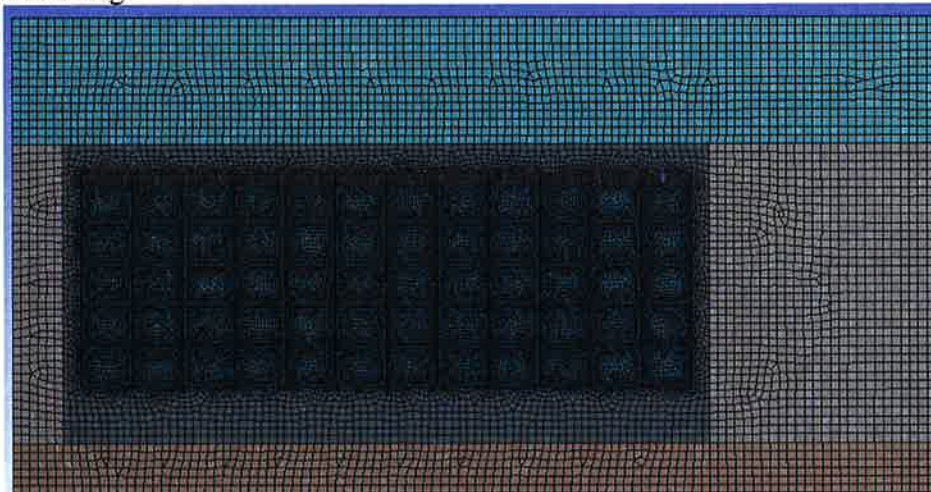
## 1 HS07-014: Seismische kwalificatie

NIRAS heeft de monolieten niet seismisch gekwalificeerd via een analyse. Het stelt als seismische kwalificatie een valtest voor. FANC/Bel V achten deze valtest (en de vergelijking van de maximumsnelheid bij de impact) geen bevredigende seismische kwalificatietest. Ze houdt immers geen rekening met een mogelijke opeenstapeling van schade vanwege de cycliciteit van de schokken bij een aardbeving. FANC/Bel V vragen NIRAS om voor een eerste Wetenschappelijke Raad de monolieten te onderwerpen aan een seismische kwalificatie door analyse of door een test die representatief is voor de verwachte omstandigheden bij een aardbeving.

## 2 Antwoord

Om aan deze vraag te voldoen, werd een analyse uitgevoerd om de spanningen in de monolieten en afschermingsplaten te berekenen in geval van seïsme [1].

Dit gebeurde met behulp van een eindige elementen model dat geïmplementeerd werd in ANSYS. Het betreft een 2D model in vlakke vervormingstoestand (zie Figuur 2); het beschouwde vlak is het vlak loodrecht op de inspectiegalerij. Het model bevat de volgende SSCs: zand-cement ophoging, module, monolieten, afschermingsplaten en de afdekking.

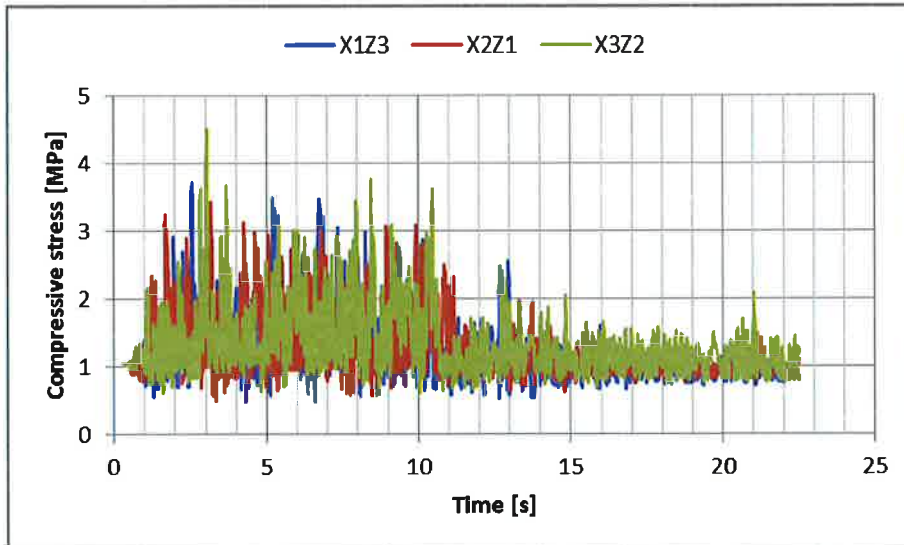


*Figuur 2: ANSYS model (XZ vlak – vlakke vervormingstoestand)*

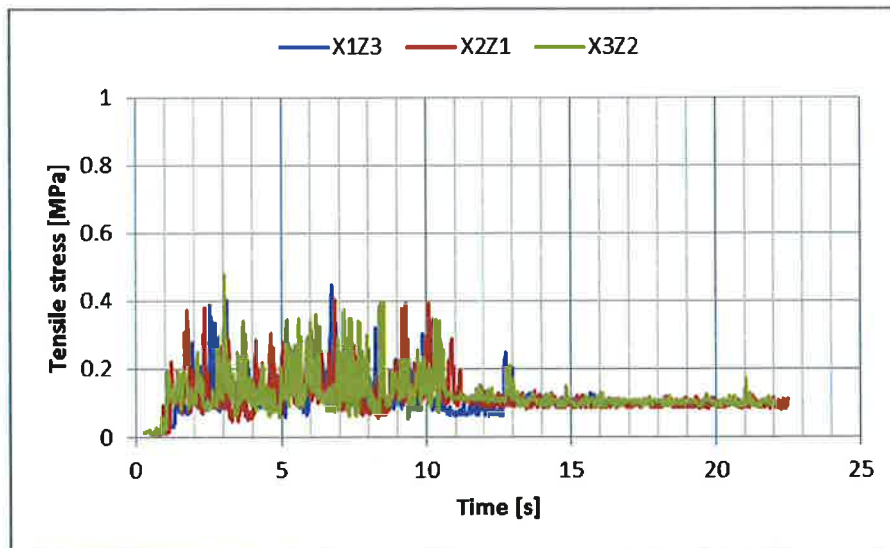
Het model beschouwt de zwaarste monolieten: Type III monolieten van 20 ton. De monolieten staan op 5 cm van elkaar en de tussenruimtes zijn opgevuld met een elastisch materiaal (in de realiteit: fijn grind). Er wordt een wrijvingscoëfficiënt van 0.2 gehanteerd tussen alle onderdelen van het model: monolieten, opvulmateriaal in de tussenruimtes, afschermingsplaten, modules, zand-cement ophoging en de afdekking. Het model wordt onderworpen aan de DBE350 (= ontwerp-aardbeving met een terugkeerperiode van 8575 jaar). Er werden 3 simulaties uitgevoerd met telkens een verschillende tijdsreeks-combinatie. Voor elk van de combinaties wordt het verloop van de druk- en trekspanningen in de monolieten en de afschermingsplaten berekend (zie Figuur 3 en Figuur 4 voor de spanningen in de monolieten en Figuur 5 en Figuur 6 voor de spanningen in de afschermingsplaten). De maximale berekende druk- en

trekspanning bedraagt respectievelijk 4,49 MPa en 0,48 MPa in de monolieten en 3,16 MPa en 0,87 MPa in de afschermingsplaten.

Om rekening te houden met de component loodrecht op het gesimuleerde vlak, wordt volgens de richtlijnen van [2] de maximale waarde vermenigvuldigd met 1,3. Voor de monolieten geeft dit een maximale berekende drukspanning van 5,84 MPa en een maximale berekende trekspanning van 0,62 MPa. Voor de afschermingsplaten geeft dit een maximale berekende drukspanning van 4,11 MPa en een maximale berekende trekspanning van 1,13 MPa.

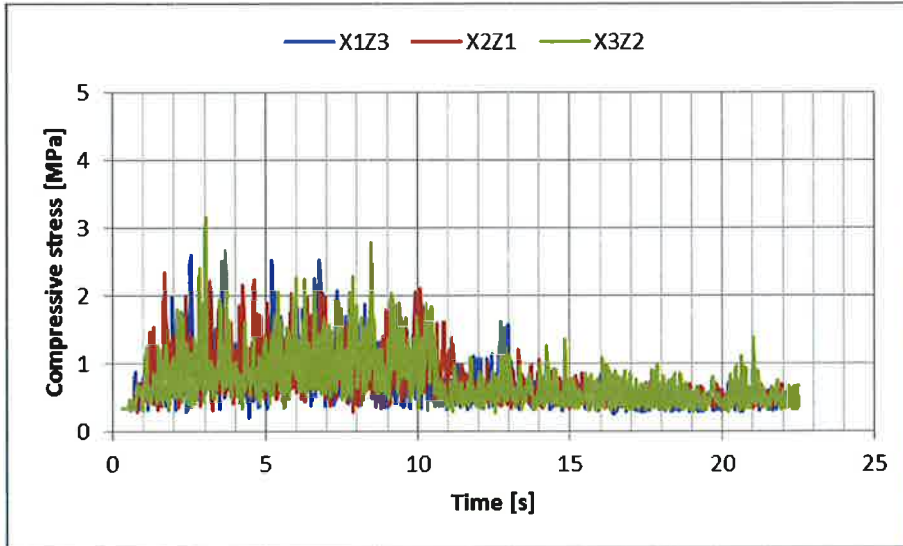


*Figuur 3: Maximale drukkrachten in de monolieten tijdens elk van de drie simulaties.*

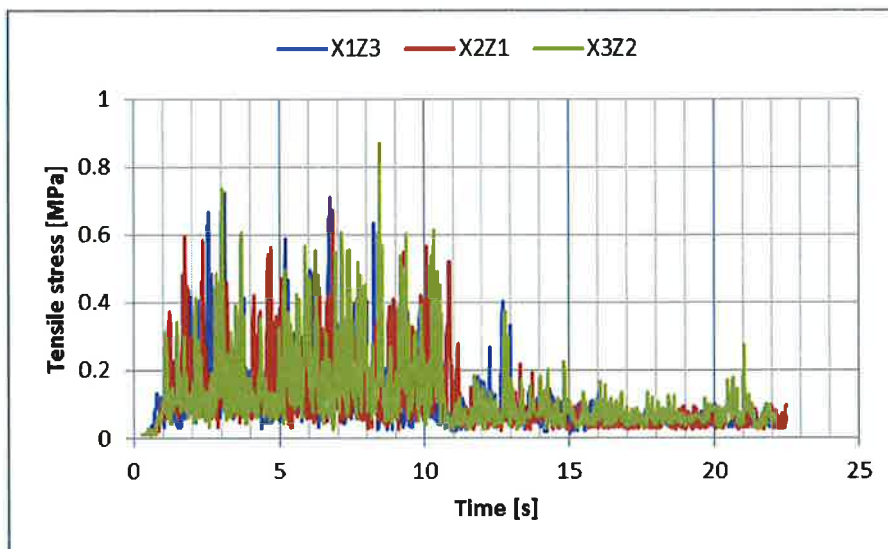


*Figuur 4: Maximale trekkrachten in de monolieten tijdens elk van de drie simulaties.*





*Figuur 5: Maximale drukkrachten in de afschermingsplaten tijdens elk van de drie simulaties.*



*Figuur 6: Maximale trekkrachten in de afschermingsplaten tijdens elk van de drie simulaties.*

Om de berekende spanningen te toetsen wordt gekeken naar de sterkteklasse: C40/50. De karakteristieke druksterkte en treksterkte op 28 dagen zijn bijgevolg respectievelijk 40 MPa en 2,5 MPa. Aangezien de monolieten op het moment van dit belastingsgeval minstens 20 jaar oud zullen zijn, worden de karakteristieke sterktes conform [3] verhoogd tot 50 MPa en 2,8 MPa. In accidentele situaties moet de karakteristieke sterkte gedeeld worden door een partiële veiligheidsfactor van 1,2. **De toelaatbare druk- en trekspanning bedragen bijgevolg respectievelijk 42 MPa en 2,3 MPa. De berekende maximale druk- en trekspanningen zijn dus met marge (~factor 2 tot 10) lager dan de toelaatbare spanningen.**

Er werd een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de elasticiteitsmodulus van het opvulmateriaal tussen de monolietstapels, dit gebeurde op basis van 1 simulatie (X2+Z1). De gevoeligheidsanalyse werd uitgevoerd om het effect na te gaan van

- zowel de elasticiteitsmodulus zelf
- maar ook van de tussenafstand tussen de monolietstapels (die gegeven de plaatsingstoleranties 3 à 7 cm bedraagt)
- en van de effecten van niet perfect parallelle monolietplaatsing.

Om deze reden werd de gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met een range van 40 MPa tot 350 MPa, waar de verwachte range eerder tussen 65 MPa en 210 MPa ligt (zie bijlage 1). Het besluit van deze analyse wordt samengevat in onderstaande tabellen en geeft aan dat de toelaatbare spanningen steeds gerespecteerd blijven.

<b>Monoliet</b>	<b>40 MPa</b>	<b>100 MPa</b>	<b>350 MPa</b>
Drukspanning (relatief t.o.v. het geval met E=100 MPa)	113 %	100 %	89 %
Trekspanning (relatief t.o.v. het geval met E=100 MPa)	158 %	100 %	93 %

<b>Afschermingsplaat</b>	<b>40 MPa</b>	<b>100 MPa</b>	<b>350 MPa</b>
Drukspanning (relatief t.o.v. het geval met E=100 MPa)	115 %	100 %	93 %
Trekspanning (relatief t.o.v. het geval met E=100 MPa)	146 %	100 %	82 %

### **3 Aanpassing aan het veiligheidsrapport**

De wijze waarop de seismische kwalificatie van de monolieten en de afschermingsplaten uitgevoerd werd en de resultaten van deze kwalificatie zullen opgenomen worden in Hoofdstuk 7.

### **4 Referenties**

- [1] OD-198, NIROND-TR 2011-57E V2, Seismic performance of monoliths and modules, (In preparation – draftversie in bijlage 2)
- [2] NBN EN 1998-1: 2005, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings
- [3] NBN EN 1992-1-1: 2005, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.1: General rules and rules for buildings

**BIJLAGE 1: Dynamic elastic modulus of the filler**

The dynamic shear modulus can be estimated according to Hardin and Drnevich (reference 0):

$$G_{\max} = 3225 \frac{(2,973 - e)^2}{1 + e} (OCR)^a (\sigma'_m)^{\frac{1}{2}}$$

With:

- $e = \text{void ratio } e = \frac{\gamma_s}{\gamma_a} - 1$
- OCR = overconsolidation ratio (= 1 for the filler)
- a = a parameter depending on the plasticity index of the material (but without influence here because OCR = 1)
- $\sigma'_m = (\sigma'_v + 2 \sigma'_H) / 3 = \text{main average effective stress}$
- $G_{\max}$  and  $\sigma'_m$  in kN/m<sup>2</sup>

$\gamma_s$  is the particle density of the material. For silica gravel, a value of 26.5 kN/m<sup>3</sup> can be taken (i.e. mineral density of quartz).

$\gamma_b$  is the dry bulk density of the material. This value depends on the degree of compaction. For very loose to loose cohesionless sand or fine gravel, the dry density is 14-15 kN/m<sup>3</sup> according to reference 0. Due to the narrow spacing around the monoliths, locally an even lower degree of compaction could be obtained for the filler and thus a lower bound of 12 kN/m<sup>3</sup> is assumed account here.

For the calculation of the main average effective stress, the height of the filler is taken into account. On average, this value is 4.05 m (maximum filling height of 8.1 m).

Once the dynamic shear modulus has been calculated, the dynamic elastic modulus can be derived using the following formula:

$$E_{\max} = 2(1 + \nu)G_{\max}$$

With:

- $\nu = \text{poisson ratio. A value of 0.3 is taken for loose sand/fine gravel.}$

The following values are calculated:

gamma_dry	12	15	kN/m <sup>3</sup>
gamma_s	26.5		kN/m <sup>3</sup>
e	1.21	0.77	
Height	4.05		m
sigma_v	48.6	60.75	kN/m <sup>3</sup>
sigma_h	24.3	30.38	kN/m <sup>3</sup>
sigma_m	32.4	40.5	kN/m <sup>3</sup>
G_max	25.9	56.6	MPa
<b>E_max</b>	<b>67.3</b>	<b>147.0</b>	<b>MPa</b>
<b>Average E_max</b>	<b>107.2 MPa</b>		

For the dynamic elastic modulus an average value of 107 MPa is obtained.

**References:**

- [1] Hardin B.O. & Drnevich V.P., Shear modulus and damping in soils : design equations and curves, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, vol. 98, N°7, pp 667-691, 1972

[2] Look B., Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables, Taylor & Francis Group, London, 2007.

Remark:

At the bottom of the module, a higher main average effective stress could be obtained, leading to an average value of 152 MPa for the dynamic elastic modulus:

gamma_dry	12	15	kN/m <sup>3</sup>				
gamma_s	26.5		kN/m <sup>3</sup>				
e	1.21	0.77					
Height	4.05		m	Height	8.1		m
sigma_v	48.6	60.75	kN/m <sup>3</sup>	sigma_v	97.2	121.5	kN/m <sup>3</sup>
sigma_h	24.3	30.38	kN/m <sup>3</sup>	sigma_h	48.6	60.75	kN/m <sup>3</sup>
sigma_m	32.4	40.5	kN/m <sup>3</sup>	sigma_m	64.8	81	kN/m <sup>3</sup>
G_max	25.9	56.6	MPa	G_max	36.6	80.0	MPa
<b>E_max</b>	<b>67.3</b>	<b>147.0</b>	<b>MPa</b>	<b>E_max</b>	<b>95.2</b>	<b>207.9</b>	<b>MPa</b>
<b>Average E_max</b>		<b>107.2 MPa</b>		<b>Average E_max</b>		<b>151.6 MPa</b>	

***BIJLAGE 2: DRAFT uit update van 'OD-198, NIROND-TR 2011-57E V2, Seismic performance of monoliths and modules'***

**1 HS07-015 IP2 Kwalificatie van de monolieten**

FANC/Bel V vragen NIRAS om hen voor een eerste Wetenschappelijke Raad uit te leggen hoe de IP-2-kwalificatie van de monolieten wordt verkregen. FANC/Bel V vragen met name om alle vereisten waaraan moet worden voldaan om deze kwalificatie te verkrijgen te identificeren en om te beschrijven hoe aan deze vereisten wordt voldaan.

**2 Antwoord**

NIRAS beoogt geen IP-2 kwalificatie van de monolieten. In hoofdstuk 7 van het veiligheidsrapport werd verkeerdelijk vermeld dat NIRAS een IP-2 kwalificatie van de monolieten beoogt. Dit zal worden rechtgezet.  
Zie ook antwoord op vraag HS15-015.

**3 Aanpassing van het veiligheidsrapport**

Sectie §7.2.4 van Hoofdstuk 7 zal worden aangepast. De zin “Als gekwalificeerde IP-2 verpakking (volgens de opgelegde vereisten van het IAEA [R7-1]), mag de monoliet getransporteerd worden op de openbare weg zonder transportcontainer of met een niet ‘IP’ gekwalificeerde transportcontainer.” zal geschrapt worden. Bijlage 2 van Hoofdstuk 8 zal overeenkomstig aangepast worden.