

Betuweroute - Sophia Spoortunnel


**Rapportage inspectie / onderzoek
betonkwaliteit en advies herstel**



Betuweroute - Sophia Spoortunnel

Rapportage inspectie / onderzoek betonkwaliteit en advies herstel

referentie	projectcode	status
RIS671-1/pouc/022	RIS671-1	definitief 2.0
projectleider	projectdirecteur	datum
ir. A.J. Strijker	ir. J.J.T.M. Sanders	24 mei 2016

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. A.J. Strijker	

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding	1
1.2. Doelstelling	1
1.3. Beschrijving kunstwerk en omgeving	2
1.3.1. Locatie kunstwerk	2
1.3.2. Invloed vanuit omgeving	2
1.4. Beschrijving werkzaamheden	3
1.5. Projectscope	3
1.6. Uitgangspunten	4
2. BUREAUSTUDIE	5
2.1. Inleiding en analyse voorgaande onderzoeken	5
2.2. Eisen en Normen	6
2.3. Toegepaste materialen	7
3. OPZET VAN HET ONDERZOEK	11
3.1. Inleiding	11
3.2. Vorst / dooi onderzoek	13
3.3. Meting Carbonatatie diepte	13
3.4. Alkali-Silica Reactie (ASR) onderzoek en samenstelling	14
3.5. Chloride onderzoek	14
3.6. Onderzoek naar Druksterkte	14
3.7. Porositeit	15
3.8. Permeabiliteit	15
3.9. Petrografisch onderzoek	15
3.10. Image analysis	15
3.11. Mosgroei waarnemingen	16
4. GEGEVENS	17
4.1. Inleiding	17
4.2. Betongegevens (zie ook par. 2.2)	17
5. BEVINDINGEN TECHNISCH ONDERZOEK	18
5.1. Algemeen	18
5.2. Visuele inspectie	18
5.2.1. Oostelijke toerit	18
5.2.2. Westelijke toerit	20
5.3. Vorst / dooi-proeven	22
5.4. Dekkingsmetingen	23
5.5. Carbonatatie dieptes	23
5.6. Druksterkte	25
5.7. ASR en samenstelling (Petrografisch onderzoek)	26
5.8. Chloridegehaltenes	27
5.9. Porositeit	28
5.10. Permeabiliteit	29
5.11. Luchtgehalte / luchtverdeling (Image Analysis)	30
6. AANVULLEND PETROGRAFISCH ONDERZOEK (PELCON)	31
6.1. Inleiding	31
6.2. Keuze laboratorium	31
6.3. Boormonsters en locaties	31

6.3.1.	Locaties	31
6.3.2.	Boormonsters	32
6.4.	Resultaten laboratoriumonderzoek	33
6.4.1.	Porositeit	33
6.4.2.	Carbonatatie indringing	34
6.4.3.	Controle mengselsamenstelling	34
7.	CONCLUSIE	36
8.	AANBEVELING	38
	laatste bladzijde	38
BIJLAGEN		
I	Visuele waarnemingen tijdens boren van de kernen	
II	Materiaalkundig onderzoek BAS Research & Technology	
III	Overzicht locaties kernboringen	
IV	Notitie aanvullend betononderzoek 'buiten het spoor'	
V	Test report Pelcon Materials en testing 12 april 2016	

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Eind 2011 is door de inspecteur van ProRail tijdens een inspectie aanzienlijke mosgroei geconstateerd bij de HSL Tunnel Rotterdam Noord (TRN). Naar aanleiding hiervan heeft ProRail opdracht gegeven om ook de diverse kunstwerken als onderdeel van de Betuweroute visueel te aanschouwen, met als resultaat dat ook hier sprake bleek van geringe tot aanzienlijke mosgroei.

Door ProRail is aan Railinfra Solutions gevraagd om te adviseren over de te nemen stappen met betrekking tot de mogelijke schade betreffende de civiele betonconstructie van de Betuweroute. Het betreft in eerste instantie alleen de Oostelijke Toerit van de Sophia Spoortunnel (uitgebreid onderzoek) en de Westelijke Toerit (Kijfhoek) van de Sophia Spoortunnel (eenvoudig onderzoek).

Tevens zijn, buiten de spoorzone: 'Overkapping Barendrecht' en betonconstructies nabij de 'Schachtgebouwen van de Sophia Spoortunnel' onderzocht, beiden eenvoudig onderzoek. Zo nodig zullen aansluitend de overige kunstwerken van de Betuweroute worden onderzocht. (zie paragraaf 7 'Aanbeveling') De resultaten van het onderzoek 'buiten de spoorzone' zijn als notitie opgenomen in bijlage IV van deze rapportage.

In 2011 heeft AP CON BV, op verzoek van ProRail een betononderzoek uitgevoerd naar de betonkwaliteit van de Oostelijke Toerit van de Sophia Spoortunnel (rapport nr. 11-60.655 d.d. 10 november 2011).

Tevens is op verzoek van ProRail door Iv-Infra / Tuc Rail een onderzoek uitgevoerd naar de kwaliteit van de mootvoegen. Bij dit onderzoek is ook nagegaan of de mosgroei en verwerking van de betonoppervlakken sinds de opname door AP CON BV is toegenomen. (rapport nr. INPA 120327 d.d. 2 mei 2012).

De bevindingen uit beide onderzoeken gaven mede aanleiding tot het nu uitgevoerde onderzoek en zijn beschouwd in deze rapportage.

1.2. Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is om na wat de reden is van de, lokaal aanzienlijke, mosgroei én of het kunstwerk voldoet aan de beoogde levensduur van 100 jaar. Indien van toepassing zal een zodanige herstmethode worden ontwikkeld dat de aangetaste betonconstructies hun levensduur van 100 jaar alsnog behalen.

Om voornoemde doelstelling te bereiken, is deze opgesplitst in 3 deel-doelstellingen:

1. oorzaak schade en omvang vaststellen;
2. indicatie geven of technische levensduur van 100 jaar in gevaar komt;
3. eventueel herstel- en monitoringsmaatregelen voorstellen voor de schademechanismen.

Het resultaat van het onderzoek naar de betonkwaliteit kan tevens aanleiding geven om meerdere of alle kunstwerken van de Betuweroute te onderzoeken.

1.3. Beschrijving kunstwerk en omgeving

1.3.1. Locatie kunstwerk

Tussen de Gemeente Oud Alblas en Hendrik Ido Ambacht is als onderdeel van Betuweroute een geboorde tunnel aangelegd. Ten Oosten van de geboorde tunnel (Oud Alblas) bevindt zich een gesloten toerit, lengte 300 m, overgaand in een open toerit met een lengte van 1.600 m. Ten Westen van de geboorde tunnel (Zwijndrecht) bevindt zich een gesloten toerit, lengte 1.800 m, overgaand in een open toerit met een lengte van 150 m.

Afbeelding 1.1. Oostelijke toerit Sophia Spoortunnel



Afbeelding 1.2. Westelijke toerit Sophia Spoortunnel



Afbeelding 1.3. en 1.4. Open bakken Oostelijke toerit Sophia Spoortunnel



1.3.2. Invloed vanuit omgeving

De Oostelijke open toeritten worden voor een groot deel ingeklemd door weilanden waarop mogelijk (kunst)mest wordt uitgereden. De directe begrenzing van de wanden van de toerit bestaat echter uit een onderhoud pad (circa 4 m breed) waarop aan de Noordzijde ook nog een watergang grenst. De kans dat (kunst)mest in aanraking komt met de betonwanden van de open toerit is daardoor klein.

Daar er geen afwijkende hoeveelheden mos zijn aangetroffen tussen de door weilanden omsloten betonwanden en de betonwanden waar dat niet het geval is, is geen nader onderzoek verricht naar de mogelijke invloed van (kunst)mest op de aantasting door mossen.

1.4. Beschrijving werkzaamheden

De werkzaamheden 'Onderzoek Toeritten Sophia Spoortunnel' bestaan uit de volgende onderdelen:

1. inventarisatie:
 - in deze fase zijn, naast de rapporten van eerdere onderzoeken c.q. visuele inspecties, de van belang zijnde documenten uit het opleverdossier verzameld;
2. bureau studie:
 - tijdens de bureaustudie wordt de beschikbare informatie en data doorgenomen en geanalyseerd (onder andere eerder verrichtte onderzoeken). Gegevens uit het opleverdossier zijn bestudeerd en hebben mede als basis gediend voor de locaties waar boormonsters zullen worden genomen;
3. inspectie:
 - tijdens de inspecties zijn op representatieve locaties kernen geboord en zo nodig metingen verricht om een goed beeld te verkrijgen van de huidige toestand met alle eventuele schades van de constructie;
 - het nemen van de boormonsters heeft gedurende 3 weekendnachten plaatsgevonden;
 - het was de opzet dat er 80 kernen zouden worden geboord ten behoeve van het onderzoek. Vanwege de zeer beperkte netto werktijden tijdens sommige buitendienststelling nachten, zijn er slechts 45 kernen geboord, waarvan er uiteindelijk 38 zijn aangewend voor laboratorium onderzoek en 7 kernen zijn gereserveerd voor eventueel aanvullend onderzoek. Gelet op de relatief goede resultaten van de kwaliteit van het beton én de geringe spreiding van de onderzoeksresultaten kan worden gesteld dat de uitkomsten een voldoende representatief beeld van de kwaliteit van het beton van de toeritten geven. De inspectiewerkzaamheden zijn beschreven in het werk- en veiligheidsplan met kenmerk RIS 670-1/beii/606 d.d. 14 juli 2015;
4. laboratorium onderzoek:
 - de kernboringen zijn in een laboratorium onderzocht. Naast standaard testmethoden hebben complexere laboratorium onderzoeken plaatsgevonden. De resultaten van de laboratoriumonderzoeken zijn verwerkt in bijlage II van deze rapportage;
5. rapportage, waarin opgenomen advies herstelmethodiek:
 - de resultaten van het laboratorium onderzoek, de opgedane kennis tijdens de bureaustudie, en de verzamelde informatie tijdens de inspectiefase vormen de basis van deze rapportage.

1.5. Projectscope

De analyses van de resultaten van de inventarisatie, inspectie en het laboratoriumonderzoek moeten uiteindelijk leiden tot een duidelijk beeld en vaststelling van de eventuele oorzaak, omvang en ernst van de schade, de kwaliteit en restlevensduur van de constructie. Ook het vaststellen van de keuze van een duurzame herstelmethodiek voor de instandhouding van de betonconstructie voor de gewenste levensduur van 100 jaar behoort tot de scope van deze opdracht.

1.6. Uitgangspunten

In overleg met ProRail is besloten om een 'eenvoudig onderzoek' uit te voeren ter plaatse van de Westelijke toerit van de Sophia Spooortunnel (Kijfhoek). De reden hiervoor is dat het beton, visueel gezien, in een betere conditie lijkt te verkeren. Ook is hier sprake van minder mosgroei. Er is besloten om van 1 moot (moot EK 15) het beton van de buitenwanden te onderzoeken.

Van de Oostelijke toerit (Oud Alblas) zullen 4 open moten en 1 gesloten moot uitgebreid worden onderzocht, dit is circa 10 % van het totaal aantal moten.

Daar specifieke gegevens met betrekking tot bijvoorbeeld de seizoenen, of meer specifiek de weercondities van de 'stortdagen' niet lijken te achterhalen en het feit dat alle moten met nagenoeg hetzelfde betonmengsel zijn gestort, heeft de keuze op de te onderzoeken moten op geografische basis en gunstige bereikbaarheid plaatsgevonden.

Tijdens de uitvoering van de kernboringen is het helaas voorgekomen dat er moest worden geanticipeerd op de keuze van de te onderzoeken moten. Reden hiervoor was dat naast materieel problemen bij de eigen (onder)aannemers, er tijdens de buitendienststellingen onverwacht ook door andere spooraanneemers werkzaamheden werden verricht in hetzelfde werkgebied. Uiteindelijk zijn de moten O3, O17, O18, O66 en O68 onderzocht.

- De buiten- en tussenwanden zijn zowel op het horizontale- als het verticale vlak onderzocht. Waar aanwezig zijn ook ontsporing geleide balken onderzocht.

Noot: In overleg met ProRail is besloten geen onderzoek uit te voeren naar de betonkwaliteit van de vloer. De kans dat er verzakkingen aan het spoor optreden tijdens het verwijderen en terugbrengen van ballastmateriaal wordt te groot geacht;

- de vorstbestandheid van het beton is onderzocht met een proef conform NPR-CEN/TS 12390-9: 2006 EN, waarbij de afschilvering wordt gemeten van verzadigd beton na een vastgesteld aantal vorst / dooi cycli (-20⁰C naar +20⁰C)

Noot: De uitkomsten van dit onderzoek kunnen niet zondermeer vertaald worden naar een duurzaamheid / levensduurverwachting van de betonconstructie. Een nadere beschouwing van de interpretatie van de uitkomsten van de laboratoriumproeven is elders in deze rapportage opgenomen;

- voor het berekenen van het verloop in de tijd van de carbonatatie indringing wordt de richtlijn van RWS aangehouden.

2. BUREAUSTUDIE

2.1. Inleiding en analyse voorgaande onderzoeken

A: eerder uitgevoerd Laboratorium onderzoek

Voorafgaand aan dit onderzoek is in 2011 door AP CON BV een eenvoudig betononderzoek uitgevoerd op de Noord- en Zuidzijde, van de Oostelijke toerit (rapport nr. 11-60.655 d.d. 10 november 2011).

De volgende aspecten zijn onderzocht:

- carbonatatie diepte;
- betondekking;
- druksterkte.

In tabel 2.1. staan de resultaten vermeld van dit onderzoek.

Tabel 2.1. Meetresultaten onderzoek AP CON BV

Metingen in:		Bovenzijde mm	Zijkant mm
Km. 6.700			
Carbonatatie diepte:		3	7
Betondekking (min):	Moot O24	59	65
Druksterkte (gem):		--	--
Km. 6.500			
Carbonatatie diepte:		3	10
Betondekking:	Moot O35	48	63
Druksterkte:		--	--
Km. 5.800			
Carbonatatie diepte:		4	11
Betondekking:	Moot O55	54	63
Druksterkte:		--	--

Metingen in:		Bovenzijde mm	Zijkant mm
Km. 6.716			
Carbonatatie diepte:		4	9
Betondekking (min):	Moot O26	53	60
Druksterkte (gem):		41,9	31,2
Km. 6.487			
Carbonatatie diepte:		35	8
Betondekking:	Moot O34	8	44
Druksterkte:		22,3	31,7
Km. 5.978			
Carbonatatie diepte:		5	8
Betondekking:	Moot O63	61	70
Druksterkte:		24,7	41,4

Opmerkingen:

- er wordt vanuit gegaan dat de waarden van de betondekking en carbonatatie diepte van de Zuidwand moot O35 zijn verwisseld;
- de druksterktes zijn bij dit onderzoek bepaald met behulp van de Schmidt terugslaghamer. Met de kennis dat de wanden zijn vervaardigd met een betonkwaliteit B35 zijn de uitkomsten van de schietproeven opmerkelijk laag;

- de gevonden waarden van de carbonatatie indringing komen globaal overeen met de resultaten van het huidige onderzoek.

Noot: de resultaten van de drukproeven van het huidige onderzoek bevestigen het beeld van de lage druksterkten niet. De mogelijke reden(en) waarom er zulke lage waarden met de terugslagamer zijn gemeten zijn:

- *een terugslagamer meet feitelijk de buitenzone van het beton. Indien deze buitenste laag door onvoldoende nabehandeling, bleeding e.d. van een mindere kwaliteit is, heeft dat invloed op de gemeten waarden. Het dieper gelegen beton van een veel betere kwaliteit zijn;*
- *meetresultaten van een terugslagamer niet altijd betrouwbaar zijn. Uit onderzoek van TNO voor het project 'Renovatie Bruggen voor RWS' is gebleken dat de gemeten waarden van een terugslagamer onbetrouwbaar waren.*

B: Eerder uitgevoerde Visuele inspecties

Naast bovengenoemd onderzoek is ook kennis genomen van inspectierapporten / schouwrapporten die in de periode 2011–2015 zijn opgesteld. (onder andere rapportage door Iv-Infra / Tuc Rail (rapport nr. INPA 120327 d.d. 2 mei 2012) en de 'Inventarisatie Mosgroei Betuweroute' door S. Boonen en F. Ketelaar, rapportage datum 27 mei 2015.

C: Onderzoeken naar de betonkwaliteit van de HSL - TRN

Voorafgaand aan het onderzoek naar de kwaliteit van het beton van de Toeritten van de Sophia Spoortunnel heeft in opdracht van Prorail een soortgelijk onderzoek plaatsgevonden bij de Tunnel Rotterdam Noordrand als onderdeel van de HSL.

Ondanks het feit dat er grote verschillen bestaan tussen de contractvormen en de te hante- ren eisen / normen lijkt er, voor wat betreft de aanwezigheid van mossen sprake te zijn van eenzelfde beeld en daarmee samenhangend desintegratie van het betonoppervlak (maar dan in veel mindere mate) als gevolg van mogelijke vorst-dooi aanvallen en / of invloed van de rhizoiden van sommige mossoorten.

Bij het HSL / TRN onderzoek is gekeken naar de volgende aspecten:

- uiterlijk c.q. visuele inspectie;
- vorst / dooi bestandheid;
- dekking;
- carbonatatie indringing;
- druksterkte;
- ASR en samenstelling (water bindmiddel factor, cementgehalte, vliegasaandeel);
- chloridegehalte.

Bovengenoemde onderzoeken maken tevens onderdeel uit van het onderzoek naar de betonkwaliteit van de Toeritten Sophia Spoortunnel. In aanvulling hierop zijn de volgende aspecten onderzocht:

- beoordeling luchtgehalte middels 'Image analysis' (specifiek oppervlak luchtbellen, afstandsfactor, afmeting luchtbellen);
- porositeit;
- permeabiliteit.

2.2. Eisen en Normen

In het contract is vastgelegd dat aan de volgende eisen en normen, met betrekking tot het ontwerp van betonconstructies en de betonkwaliteit, moet worden voldaan:

- NS RIB nr. 1000, Richtlijn voor het ontwerpen en uitvoeren van door spoorverkeer be- laste betonconstructies;

- NS RIB nr. 1012, versie 2.0, Richtlijn berekening van ondersteuningsconstructies voor bekistingen;
- RAW, standaard 1995 + Appendix NS RIB 96;
- NEN 3502, Leveren beton door betonmortelbedrijven, 1992;
- NEN 5950, Voorschriften betontechnologie, VBT 1995;
- NEN 6720, Voorschriften beton, TGB 1990 (VBC 1995);
- NEN 6722, Voorschriften beton uitvoering, VBU 1988;
- NEN 6723, Voorschriften beton bruggen, VBB 1995;
- CUR aanbeveling 9, bepaling sterkteontwikkeling jong beton op basis van gewogen rijpheid;
- CUR aanbeveling 19, temperatuureffecten in zware betonconstructies ten hoogte van hydrateringswarmte van cement.

2.3. Toegepaste materialen

Op vrijdag 4 december 2015 is een bezoek gebracht aan het hoofdkantoor van ProRail waar de nodige informatie uit het opleverdossier was verzameld (de gevonden materiaal specificaties bevinden zich in de archiefdoosnummers: 376823329 en 376823330).

Aan de hand van de gevonden informatie in het opleverdossier is getracht onder anderen onderzoek te doen naar de volgende aspecten:

- a. betonkwaliteit / mengselsamenstelling (inclusief toeslag- c.q. hulpstoffen);
- b. weersomstandigheden (seizoen) tijdens het storten;
- c. leverancier (betoncentrale);
- d. gebruikte ontkisting middelen;
- e. wijze van nabehandelen en toegepast curing compound.

Ad a.

In het opleverdossier is informatie aangetroffen over de toe te passen mengsels (recepten) voor de open en gesloten toeritten. Afhankelijk van de wapeningconcentratie kon destijds per stort een keuze worden gemaakt tussen een mengsel met een grind korrelverdeling nominaal 32 mm of nominaal 16 mm met respectievelijk bijbehorend consistentiegebied 3 en 4.

In het opleverdossier zijn slechts een beperkt aantal stort- c.q. afleveringsbonnen aange- troffen waardoor niet met zekerheid kan worden gesteld of voor de 'standaard' buitenwan- den mengselcode 8a of 8c veelvuldig is toegepast.

Bij de visuele beoordeling van de betonmonsters is vastgesteld dat in de meeste gevallen een grind korrelverdeling nominaal 16 mm is toegepast (mengsel 8C). Hieronder staan de belangrijkste kenmerken van het mengsel 8C:

- betonkwaliteit B35;
- milieu klasse 5b (bestand tegen een matig agressieve omgeving);
- toegepast cement: CEM III/B 42,5 LHHS ENCI-Rotterdam;
- toegepaste cementhoeveelheid: 360 kg/m³ beton;
- water cement factor: 0,48;
- geen toevoeging andere cementsoorten en / of vliegas;
- gebruikte superplastificeerder: 'Masterbuilders 420': 3,28 kg/m³ beton (2,74 l).

Afbeelding 2.2. Overzicht toegepaste betonmengsels

Mengsel (/recept)	Toepassing
Recept TUB/M8	Constructiebeton t.b.v. schachten, open en afgedekte bakken en opstorten. Consistentiegebied 2.
Recept TUB/M8a	Constructiebeton t.b.v. schachten, open en afgedekte bakken en opstorten. Consistentiegebied 3
Recept TUB/M8c	Constructiebeton bij constructies met hoge concentratie wapening. Consistentiegebied 4. Korrelverdeling < nom 16
Recept TUB/M8f	Constructiebeton bij constructies met hoge concentratie wapening en veel in te betonneren onderdelen en sparingen.. Consistentiegebied 4. Korrelverdeling < nom. 16
Recept TUB/M8v	Constructiebeton voor vloeren waar lagere concentraties wapening in voor kunnen komen. Consistentiegebied 3.

De korrelverdeling van het mengsel en hoeveelheden van materialen op de bijlage zijn ter indicatie.
De korrelverdeling van de te leveren betonmortel zal liggen tussen de waarden vermeld in de kolom "Grad-lijn".

Afbeelding 2.3. Korrelverdeling en betonsamenstelling mengsel 8C

KORRELVERDELING en BETONSAMENSTELLING				
Zeven vlg. NEN 2560		CUMULATIEVE ZEEFRESTEN IN %		
instellingscode : TUB/M8C				
Voignummer : 2808	Recept : 83 (Dosrecept : 83)	Datum : 04-11-99		
Recept : TUB/M8C		Tijd : 12:47		
B 35	Milieuklasse 5b Cg 2->4	wcf : 0.480	Water : 173 liter	
Klant : Tubecon 1 vof	Werk :			
Zeefnr.	202	208	Mengsel	Grad-lijn
C63	0	0	0	0 - 0
C31.5	0	0	0	0 - 0
(22.4)	0	0	0	0 - 0
C16	0	0	0	0 - 5
(11.2)	0	0	0	0 - 5
C8	0	56	32	24 - 40
(5.6)	0	56	32	24 - 40
C4	6	89	53	44 - 64
2	17	99	64	58 - 79
1	30	100	70	68 - 88
0.500	62	100	84	80 - 92
0.250	93	100	97	92 - 97
0.125	99	100	100	94 - 100
	---	---	---	---
Totaal	307	644	500	
nf	3.07	6.44	5.00	
Max.geabs.	0.0	0.0		
(gigerde grondstoffen : geen				
BETONSAMENSTELLING VOLDOET AAN GRADERING A/B lijn Grind N16				
Materiaal	Percentage	Gewicht	Vocht	Totaal gewicht
Zand 0-04	43.0 %	789 kg	5.0 % [39 kg]	829 kg
Fijn grind 4-16	57.0 %	1046 kg	3.2 % [33 kg]	1080 kg
CEM III/ B 42,5 LHHS		360 kg	Encl-Rotterdam	
Superplast. 420	0.9 %	3.24 kg	2.79 l Masterbuilders	
Aanmaakwater (geabsorbeerd 0 l)		100 liter		
Materiaal < 0.25mm :			Gebroken materiaal :	0.0 kg
	Cement	122.0 liter		
	Vulstof	0.0 liter		
	Zand	20.9 liter		
	Lucht	0.0 liter		

	Totaal	143.0 liter		

Ad b.

Door het ontbreken van stortbonnen c.q. afleveringsbonnen van het geleverde beton is het niet mogelijk om te achterhalen in welk seizoen betreffende onderdelen zijn gestort of meer specifiek, van welke weercondities er tijdens het storten en verharden sprake was (temperatuur, vochtigheidsgehalte, windsnelheid et cetera). Hierdoor is het ook niet mogelijk om na gaan of er sprake is geweest van extra toeslagstoffen als onder anderen versnellers, vertragers et cetera. Weercondities zouden ook uit de 'opzichter dagboeken' moeten zijn terug te vinden. Deze dagboeken lijken echter niet te zijn opgenomen in het opleverdossier.

Ad c.

Volgens het opleverdossier zijn 2 betoncentrales verantwoordelijk geweest voor de levering van het beton:

- Wolst Mortel BV te Dordrecht;
- Betoncentrale Papendrecht.

Gelet op de geografische ligging van de Toerit Oost, mag er vanuit worden gegaan dat al het beton voor deze moten is geleverd door de Betoncentrale Papendrecht. Al het beton van de Open Toerit West is om diezelfde reden hoogstwaarschijnlijk geleverd door Wolst Mortel BV te Dordrecht. Alleen bij een zeer omvangrijk betonstort is er mogelijk sprake geweest van gezamenlijke levering.

Ad d.

In het opleverdossier zijn 2 soorten ontkistingsmiddelen aangetroffen. Het betreft:

- Cugla Vormolie. Er is geen specificatie van dit product bekend maar de naam en de soortelijke massa (0,82 kg/l) suggereert dat een minerale olie als basis dient voor dit product;
- Marginel ontkistingsmiddel. De grondstoffen voor dit product zijn afkomstig van plantaardige oliën en dierlijke vetten geëmulgeerd in water. De soortelijke massa bedraagt 0,99 kg/l.

Het is niet bekend welk product op welke bekisting(soorten) is toegepast.

Ad e.

In het opleverdossier is informatie aangetroffen van 3 typen curing compound van dezelfde leverancier:

- Cugla-Curing Compound N. Dit product heeft als basis 'paraffine';
- Cugla-Curing Compound H. Dit product heeft als basis 'hars' (biologisch afbreekbaar);
- Cugla-Curing Compound A. Dit product heeft als basis 'acrylaat'.

Het is niet bekend welk product er voor welke onderdelen als curing is toegepast. Ook bestaat de mogelijkheid dat er voor bepaalde onderdelen in het geheel geen curing compound is toegepast maar dat het beton door afdekken met plastic folie, nat houden, of langer laten staan van de bekisting, tegen uitdroging is beschermd.

3. OPZET VAN HET ONDERZOEK

3.1. Inleiding

Vanuit de bureaustudie is, voor zover mogelijk, risico gestuurd bepaald:

1. welke onderdelen er onderzocht dienen te worden;
Noot: op verzoek van de opdrachtgever worden de moot-vloeren niet onderzocht; De onderdelen van de verdiepte bakken die zijn onderzocht betreffen de buitenwanden, tussenwand, ontsporing geleide wand en in het geval van de gesloten moot het dak;
2. hoeveel kernboringen er verricht moeten worden en welke proeven daarop worden uitgevoerd ten behoeve van de betrouwbaarheid van de uitkomst(en) van het onderzoek.

Daar er in het geval van het te onderzoeken kunstwerk Toeritten Sophia Spoortunnel geen duidelijkheid bestaat of er daadwerkelijk sprake is van (ernstige) betonschade maar er voor wat betreft de mosgroei wel een duidelijke overeenkomst bestaat met de HSL TRN is besloten in ieder geval op dezelfde aspecten onderzoek te doen (zie par 2.1.C). Tevens zijn enkele aanvullende onderzoeken verricht die mogelijk kunnen bijdragen tot de vraag waarom er sprake is van overvloedige mosgroei.

Uit het onderzoek van AP CON BV uit 2011 blijkt dat er sprake is van een 'verwachte' carbonatatie indringing maar van een onverwacht lage gemiddelde betondruksterkte. Dit laatste aspect verdient, om die reden, ook in dit onderzoek de aandacht.

De hierna volgende toelichtingen op de uitgevoerde proeven en de mogelijke invloed van de uitkomsten van de proeven op de constructie, betreft een zeer beknopte samenvatting.

In tabel 3.1. is aangegeven welke onderzoeken zijn uitgevoerd op welke boorkernen.

Tabel 3.1. Overzicht laboratoriumonderzoeken per moot

Moot 3 (open)	kern 1 Ø 150	kern 2 Ø 150	kern 3 Ø 150	kern 4	kern 5	kern 6	kern 8	kern 8A	kern 9	kern 10	kern 11		
1 Visueel	1	1	1	1	1	1	Reserve boorkernen	Reserve boorkernen	Reserve boorkernen				
2 Vorst/dooi		1	1			1							
3 Carbonatatie		1	1			1							
4 ASR gevoelig mat.				1									
5 Cement- Chloride gehalte				1									
7 WBF, vliegaseh				1									
6 Druksterkte	1												
8 Luchtgeh. Afstandsfactor				1									
9 Permabiliteit	1	1											
10 Porositeit (gef. wateropn.)													

Moot 17 (open)	kern 1	kern 2	kern 3	kern 4 Ø 150	kern 5	kern 6	kern 7	kern 8	kern 9	kern 10	kern 11
1 Visueel			1	1			1	1			
2 Vorst/dooi			1				1				
3 Carbonatatie				1				1			
4 ASR gevoelig mat.							1				
5 Cement- Chloride gehalte											
7 WBF, vliegaseh							1				
6 Druksterkte											
8 Luchtgeh. Afstandsfactor			1								
9 Permabiliteit				1							
10 Porositeit (gef. wateropn.)								1			

Moot 18 (open)	kern 1	kern 2	kern 3	kern 4 Ø 150	kern 5	kern 6	kern 6A	kern 7	kern 8	kern 9 Ø 150	kern 10
1 Visueel	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 Vorst/dooi					1	1		1			1
3 Carbonatatie	1		1	1					1		
4 ASR gevoelig mat.				1							
5 Cement- Chloride gehalte						1					
7 WBF, vliegaseh				1							
6 Druksterkte											1
8 Luchtgeh. Afstandsfactor											
9 Permabiliteit				1							1
10 Porositeit (gef. wateropn.)								1			1

Moot 66 (open)	kern 1	kern 2	kern 3	kern 4	kern 5	kern 6	kern 7 Ø 150	kern 8	kern 9 Ø 150	kern 10	kern 11
1 Visueel			1	1			1		Reserve boorkernen		
2 Vorst/dooi				1							
3 Carbonatatie			1				1				
4 ASR gevoelig mat.			1								
5 Cement- Chloride gehalte											
7 WBF, vliegaseh											
6 Druksterkte											
8 Luchtgeh. Afstandsfactor				1							
9 Permabiliteit							1				
10 Porositeit (gef. wateropn.)											

Moot 68 (gesloten)	kern 1 Ø 150	kern 2	kern 3	kern 4	kern 5	kern 6	kern 7 Ø 150	kern 8	kern 9	kern 10	kern 11		
1 Visueel	Reserve boorkernen	1	1	1	1	1	1	Reserve boorkernen	Reserve boorkernen	1			
2 Vorst/dooi		1			1	1	1						
3 Carbonatatie			1				1					1	
4 ASR gevoelig mat.				1									
5 Cement- Chloride gehalte				1									
7 WBF, vliegaseh				1									
6 Druksterkte						1							
8 Luchtgeh. Afstandsfactor							1						
9 Permabiliteit										1			
10 Porositeit (gef. wateropn.)													1

Moot EK 15 (open) Kijfhoek	kern 1	kern 2	kern 3	kern 4	kern 5	kern 6	kern 7	kern 8	kern 9 Ø 150	kern 10	kern 11
1 Visueel	1		1	1	1	1	1	1	1		
2 Vorst/dooi				1	1			1	1		
3 Carbonatatie	1		1				1		1		
4 ASR gevoelig mat.	1					1					
5 Cement- Chloride gehalte	1		1								
7 WBF, vliegasegeh	1					1					
6 Druksterkte				1							
8 Luchtgeh. Afstandsfactor	1				1						
9 Permabiliteit									1		
10 Porositeit (gef. wateropn.)					1		1	1			

In bijlage III is per moot aangegeven op welke locaties de kernen zijn geboord.

3.2. Vorst / dooi onderzoek

De kernen zijn beproefd volgens de richtlijn NPR-CEN/TS 12390-9 (beproeving van verhard beton - Deel 9: Vorst / dooibestandheid 'zonder dooizouten'- afschilfering.) Er bestaan ook andere proeven om inzicht te verkrijgen in de vorst/dooi bestandheid, onder andere op basis van metingen van de resonantiefrequentie i.r.t. de voortplantingssnelheid van ultrasone golven. Ook metingen van de buigtreksterkte kunnen worden vertaald naar een vorst / dooi bestandheid van het beton. Deze alternatieve onderzoeksmethoden blijven buiten de beschouwing van deze rapportage.

Ter informatie:

- indien is vereist dat een beton moet worden vervaardigd dat goed bestand is tegen (streng)vorst / dooi wisselingen, eventueel in combinatie met dooizouten, is de hiervoor beschreven proef een goed hulpmiddel. Er kan immers vooraf worden overeengekomen hoeveel massaverlies er na 28 of 56 vorst/dooicycli mag optreden;
- het is echter complex, zo niet onmogelijk, om op basis van deze genormaliseerde vorst / dooi proef na te gaan met welke snelheid 'in de praktijk' het beton zal afschilveren / desintegreren. Immers de proef gaat uit van zeer strenge blootstellingomstandigheden (in enkele uren tijd van +20°C naar -20°C). Omstandigheden die in Nederland niet voorkomen. Een 'vertaling' van het massaverlies dat wél als gevolg van in de praktijk voorkomende vorst / dooi wisselingen zal optreden, kan alleen maar worden geschat;
- bij de vorst / dooi proef wordt het monster verzadigd met water. Het is een gegeven dat een beperkte verzadigingsgraad van het beton (< 80 %) de kans op vorstschade drastisch verkleint. In het geval van onderzijde daken en verticale wandoppervlakken zal er nooit / zelden sprake zijn van een water-verzadigingsgraad > 80 %. Daarmee is de kans op daadwerkelijke vorst / dooischade gering. Horizontale bovenvlakken in de buitenlucht lopen wel kans om met water verzadigd te raken. De kans op verzadiging neemt toe indien:
 - het beton een structuur heeft dat gemakkelijk water kan / zal opnemen;
 - wind weinig vat heeft op het betreffend oppervlak;
 - er in het geheel geen, of slechts heel beperkt, sprake is van afschot;
 - er sprake is van overvloedige mosgroei (spons werking / vasthouden vocht);
 - er geen zon op het betreffend oppervlak kan schijnen.

3.3. Meting Carbonatatie diepte

Carbonatatie is een chemische reactie waarbij koolstofdioxide uit de lucht reageert met calciumhydroxide in het beton, waarbij een onoplosbaar calciumcarbonaat als neerslag wordt gevormd. Hierbij zal het koolstofdioxide eerst oplossen in water.

Calciumhydroxide zorgt voor het gunstige alkalische milieu van het beton en beschermt daarmee de wapening. Door de carbonatatie-reactie zakt de pH-waarde uiteindelijk tot onder de 9 á 10, waardoor corrosie van de wapening mogelijk wordt.

Noot: Een voldoende hoge alkaliteit van het betonoppervlak maakt dit tevens minder geschikt als voeding-/vestigingsbodem voor de meeste mos soorten

Daar waar mogelijk, is tijdens het nemen van de monsters de carbonatatie diepte gemeten. Een vers breukvlak van het beton wordt besproeid met een kleurindicatievloeistof (fenolft-haleïne). Het carbonatatiefront tekent zich hierbij af als een scheiding tussen paars (pH > 10) en kleurloos (pH < 10), waarbij de paarskleuring duidt op gezond, alkalisch beton (nog niet gecarbonateerd). In deze rapportage zijn alleen de meer nauwkeurige gegevens van de in het laboratorium bepaalde carbonatatieptes opgenomen, de veldwaarnemingen zijn buiten beschouwing gelaten.

Noot: De toegepaste methode om carbonatatie van het beton aan te tonen (m.b.v. fenolft-haleïne) geeft alleen aan of er sprake is van een zuurgraad in het beton lager dan pH 9 á 10. Afhankelijk van de omstandigheden is het mogelijk dat er uiteindelijk sprake kan zijn van een nog lagere zuurgraad. Afhankelijk van de omgevingsinvloeden (aanbod aan zuurstof / water) en spanning kan dit bij pH waarden lager dan pH 7 á 8 leiden tot versnelde oxidatie van de wapening. Daar er, gelet op de huidig gemeten waarden, vanuit wordt gegaan dat het carbonatatiefront binnen de restlevensduur van het kunstwerk de wapening niet zal bereiken is hier verder geen onderzoek naar gedaan.

3.4. Alkali-Silica Reactie (ASR) onderzoek en samenstelling

Alkali Silica Reactie is een schademechanisme dat het beton inwendig uit elkaar drukt. Het gaat hier om een reactie tussen Alkali (vooral uit het cement) en silica (vooral uit het zand en grind). Door de reactie wordt Alkali-Silica gel gevormd dat veel water kan absorberen en daardoor zwelt. Technisch gezien zal in alle beton sprake zijn van Alkali-Silica reacties, we spreken echter van een schadelijk ASR als door het 'zwellen' het beton van binnenuit kapot wordt gedrukt.

Noot: Het is een gegeven dat de kans op een schadelijk ASR bij toepassing van CEM III (hoogovence-ment), zoals toegepast bij de toeritten van de Sophia spoortunnel, vele malen kleiner is dan bij toepassing van een CEM I (portlandcement).

Het zoeken naar sporen van ASR is een onderdeel van het petrografisch onderzoek.

3.5. Chloride onderzoek

Chloride kan de passiveringslaag rondom het wapeningsstaal aantasten. Chloride indringing kan onder anderen optreden door brak grondwater of door in water opgeloste strooi-zouten. Ook chloriden in het cement, toeslagstoffen, hulpstoffen of aanmaakwater kunnen hier debet aan zijn. Voor zover bekend wordt er in de toeritten van de Sophia Spoortunnel geen gebruik gemaakt van strooizout ter verwijdering van sneeuw en / of ijs. Wel is er sprake van een 3-tal wegkruisingen waardoor een geringe hoeveelheid dooizout (vanaf de wegviaducten) in de toeritten terecht kan komen. Bij de keuze van de te onderzoeken mo-ten is hier geen rekening mee gehouden.

3.6. Onderzoek naar Druksterkte

Mede gelet op het feit er tijdens een eerder onderzoek (zie par. 3.1) is aangetoond dat er sprake was van relatief lage druksterkten, zijn in dit onderzoek de nodige kernen op druksterkte beproefd. Het druksterkte onderzoek is uitgevoerd volgens NEN-EN 12540-1, NEN-EN 12390-3:2009 en NEN-EN 12390-7:2009.

3.7. Porositeit

Porositeit is onder andere het natuurlijke gevolg van het feit dat normaliter enerzijds meer water aanwezig is dan benodigd voor de hydratatie van het cement (na verdamping van dit water blijven holle ruimten achter) en anderzijds van toeslagmaterialen die eventuele holtes bevatten.

Een te hoge porositeit heeft een ongunstig effect op de mechanische weerstand van het beton en op zijn duurzaamheid → De korrelverdeling van het toeslagmateriaal en de compactheid van het beton (onder andere afhankelijk van de samenstelling en de verdichting) beïnvloedt rechtstreeks de porositeit.

De porositeit is gemeten met een test voor geforceerde wateropname volgens NEN 3873. Voor de uitvoering van de test zijn de proefstukken in een met water gevulde ketel geplaatst en gedurende een bepaalde tijd gekookt. Vervolgens is de massa van de proefstukken, zowel boven als onder water, bepaald. Hierna zijn de proefstukken terug gedroogd tot een constante massa werd gemeten. Aan de hand van de meetdata kan de (geforceerde) wateropname worden berekend.

3.8. Permeabiliteit

Het onderzoek naar de permeabiliteit (vloeistof-indringbaarheid) is uitgevoerd conform NEN-EN 12390-8. Hiervoor worden de cilinders gedurende 72 uur onder een waterdruk van 500 kPa (50 m waterkolom) gezet. Hierna worden de monsters gespleten en wordt de indringingsdiepte bepaald.

3.9. Petrografisch onderzoek

Uit de aangeleverde monsters worden zeer dunne plaatjes geslepen, zgn. slijpplaatjes, met een dikte van 0,03 mm. Omdat de slijpplaatjes zo dun zijn is het mogelijk dat door het monster heen kan worden gekeken. Belichting van onderaf maakt microscopisch onderzoek hierdoor uitermate geschikt. Naast normaal invallend licht kan gebruik worden gemaakt van ultraviolet licht of gepolariseerd doorschijnend licht om onderzoek te doen naar specifieke eigenschappen van het beton.

Bij het petrografisch onderzoek is gekeken naar de opbouw van het beton, ofwel het gebruikte fijne en grove toeslagmateriaal, de cementsoort, de eventuele aanwezigheid van vliegglas. Ook het onderzoek naar de aanwezigheid van ASR en inwendige scheurvorming maken onderdeel uit van het petrografisch onderzoek.

3.10. Image analysis

Voor het bepalen van het luchtgehalte (inclusief de afmeting-, het specifieke oppervlak- en de onderlinge afstand van de luchtbellens) zijn enkele cilinders doormidden gezaagd, waarbij een zo vlak mogelijk oppervlak is gecreëerd. Vervolgens is van dit oppervlak een foto met zeer hoge resolutie gemaakt en sterk vergroot.

Met behulp van image analysis zijn de porieparameters middels de lineaire traverse methode bepaald. Hierbij wordt de weg die wordt afgelegd door het toeslagmateriaal, lucht en cement(pasta) opgemeten langs een aantal lijnen. De porieparameters kunnen nu volgens het model van Powers worden berekend.

3.11. Mosgroei waarnemingen

Tijdens eerdere inspecties van de Oostelijke toerit van de Sophia Spoortunnel (zie ook paragraaf 1.1) is gebleken dat op de bovenzijden van de betonwanden sprake is van matige tot aanzienlijke mosgroei. Het lijkt erop dat sinds de waarneming in 2011 er geen sprake is van ernstige toename van de mosgroei.

Hoewel de exacte oorzaak van de, lokaal aanzienlijke, mosgroei nog niet bekend is kan algemeen worden gesteld dat waar het betonoppervlak een voldoende open structuur bezit (poriën / scheuren), de alkaliteit voldoende is verlaagd (carbonatatie) en de omgevingscondities gunstig zijn, er sprake is van lokaal aanzienlijke mosgroei.

Indien er sprake is van een dichte mosgroei kan dit er voor zorgen dat regenwater langer wordt vastgehouden. De kans dat het betonoppervlak een waterverzadiging heeft groter dan 80 % tijdens vorst / dooi wisselingen, en hierdoor kans op vorst schade, neemt daarmee toe.

Afhankelijk van de kwaliteit van de buitenste laag van het beton kunnen sommige mossoorten (met name het veel voorkomende *Grimmia pulvinata* → muisjesmos) bij verwijdering een klein deel van de toplaag van het beton met zich meetrokken.

4. GEGEVENS

4.1. Inleiding

De toeritten van de Sophia Spoortunnel kunnen grofweg worden ingedeeld in een deel ten Oosten- (Papendrecht zijden) en ten Westen (Zwijndrecht / Kijfhoek zijde) van de geboorde tunnel. Voor de locatie en een overzicht van de toeritten zie paragraaf 1.3 'Beschrijving Kunstwerk'

De Oostelijke toerit bestaat uit 66 open moten en 11 gesloten moten, de Westelijke toerit bestaat uit 12 open moten en 71 gesloten moten.

Daar ter plaatse van de Westelijke open toerit het beton in een betere conditie lijkt te verkeren en sprake is van minder mosgroei, is besloten om hier een beperkt onderzoek te verrichten. Eén moot: EK 15, is hier onderzocht. Van de Oostelijke toerit zijn 4 open moten (O3, O17, O18 en O66) en 1 gesloten moot (O68) onderzocht.

4.2. Betongegevens (zie ook par. 2.2)

Voor alle open- en gesloten moten zijn in principe maar 2 mengsels toegepast, mengsel 8a en mengsel 8c. De van belang zijnde informatie van deze 2 mengsels staat in tabel 4.1 vermeld.

Tabel 4.1. Toegepaste betonmengsels

Sophia Spoortunnel - Open en gesloten toerit moten		
	Mengsel 8a norm. Wap. Concentraties	Mengsel 8c hoge wap. Concentraties
Betonsterkte klasse	B35	B35
Milieuklasse	5B (matig agressief)	5B (matig agressief)
Consistentiegebied	3	4
Water-cement factor	0,48	0,48
xtra toeslagstoffen (vliegashoudend)	geen	geen
Aandeel zand 0-4 droog (ca)	785 kg	789
Aandeel grind 4-16 droog (ca)	-	1046
Aandeel grind 4-32 droog (ca)	1122 kg	-
CEM III/B 42,5 LHHS ENCI R'dam	340 kg	360 kg
Superplast Masterbuilder 420	0,6% (2,04 kg)	0,9% (3,24 kg)
Aandeel 'fijn'	136 liter	143 liter

5. BEVINDINGEN TECHNISCH ONDERZOEK

5.1. Algemeen

Tijdens het boren van de kernen in de toeritten zijn foto's gemaakt van de kernen en de directe omgeving van de boorlocatie.

Noot: De boorwerkzaamheden hebben verspreid over 3 nachtelijke buitendienststellingen plaatsgevonden. De werkzaamheden vonden plaats tussen 01.00 en 06.00 uur. Dit houdt in dat alle foto's tijdens de boorwerkzaamheden met kunstlicht zijn genomen en mogelijk geen goed overzicht geven van de aangetroffen situatie.

Enkele van de gemaakte foto's gemaakt tijdens het nemen van de monsters, zijn opgenomen in bijlage I van deze rapportage. Indien gewenst kunnen meerdere (overzicht) foto's worden verstrekt.

Vervolgens zijn in het laboratorium de volgende proeven / inspecties uitgevoerd:

- visuele inspectie;
- bepaling carbonatatie indringing;
- bepaling vorst / dooi wisseling aantasting;
- bepaling alkali silica reactie;
- bepaling chloride gehalte;
- bepaling water-cement factor en cementgehalte;
- bepaling druksterkte en volumieke massa;
- bepaling porositeit;
- bepaling permeabiliteit;
- bepaling luchtgehalte, afstandsfactor, specifiek oppervlak.

De rapportage van het laboratorium onderzoek is opgenomen in bijlage II.

5.2. Visuele inspectie

5.2.1. Oostelijke toerit

Tijdens de voorinspectie op 30 juni 2015, uitgevoerd in aanwezigheid van de heer J. Bogaards (ProRail) en de heren B. Strijker en M. Nieuwenhuis (Railinfra Solutions) is de situatie ter plaatse van de Oostelijke Toerit in ogenschouw genomen. Er werd geconstateerd dat er sprake was van matige, lokaal aanzienlijke, mosgroei op de bovenzijde van de toerit wanden en beperkte mosgroei op de bovenzijde van de ontsporingsgeleide wanden, kabelgootwanden en looppad tegels (schouwpad).

Het feit dat er nagenoeg geen mos op het schouwpad is waargenomen is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van het feit dat het schouwpad onlangs is schoongemaakt (geborsteld).

Afbeelding 5.1. Overzicht schouwpad (onlangs geborsteld → weinig mosgroei)



Afbeelding 5.2. Overzicht buitenwanden moot 03 (geringe mosgroei)



Afbeelding 5.3. Kunstwerk 'Veersedijk Oost' (aanzienlijke mosgroei)



In het laboratorium zijn alle geboorde kernen visueel geïnspecteerd:

- in geen enkel monster zijn waterlenzen of vormen van segregatie aangetroffen;
- de spreiding van de verdichting van het beton loopt uiteen van matig / slecht tot goed, waarbij wordt opgemerkt dat er geen sprake is van een grote spreiding per moot;
- de hoeveelheid luchtbellen varieert van matig tot weinig met afmetingen variërend van klein tot middel / groot;
- de aangetroffen nominale grindkorrel afmeting bedraagt over het algemeen 16 mm en in een enkel geval 32 mm.

5.2.2. Westelijke toerit

Op 22 februari 2016 is het beton van de Westelijke Toerit (Kijfoek) visueel beoordeeld door de heer M. Nieuwenhuis (Railinfra Solutions). Er is geconstateerd dat er sprake is van geen (afbeelding 5.4.) tot zeer weinig mosgroei (afbeelding 5.5.) op de bovenzijde van de toeritwanden en looptegels. Ook is geconstateerd dat het beton in een zeer goede conditie verkeert. Het buitenoppervlak van het beton van de toeritwanden lijkt minder te lijden te hebben gehad van de invloed van het weer (schurende werking door regen en wind, vorst-dooi wisselingen) dan het beton van de Oostelijke toeritten.

Afbeelding 5.4. Overzicht Westelijke Toeritwanden (Kijfhoek)



Afbeelding 5.5. Overzicht Westelijke Toeritwanden (Kijfhoek)



5.3. Vorst / dooi-proeven

In tabel 5.1 staan de resultaten van de uitgevoerde vorst / dooi metingen vermeld. Zoals in paragraaf 3.2 vermeld, is het moeilijk om een waardeoordeel te geven aan de vorst-dooi bestandheid zoals bepaald volgens de genormaliseerde vorst-dooi proef.

Algemeen kan worden gesteld dat betonconstructies in Nederland die niet worden blootgesteld aan dooizouten vervaardigd met een wcf $\leq 0,5$ en een cementgehalte $> 300 \text{ kg/m}^3$, worden geacht bestand te zijn tegen de gevolgen van vorst / dooi wisselingen. Het toegepaste betonmengsel voor de toeritten van de Sophia Spoortunnel bezit een water cement factor van 0,48 en een cementgehalte tussen de $340 - 360 \text{ kg/m}^3$ (zie tabel 4.1) en voldoet dus ruimschoots aan de gestelde voorwaarden.

Indien daadwerkelijk moet worden gestuurd op een betonconstructie bestand tegen vorst / dooi wisselingen in combinatie met dooizouten (mengsels XF2 en XF4) dan zal gebruik gemaakt moeten worden van een luchtbelvormer. Hier is geen sprake van bij het ontwerp van de toerit wanden.

Het is opvallend dat de betonmonsters uit het horizontale bovenzijde van de wanden een aanmerkelijk betere vorst / dooi bestandheid vertonen dan de monsters uit alle overige vlakken. Na 28- en 56 vorst / dooi cycli vertonen deze een gemiddeld massaverlies van $0,9 \text{ kg/m}^2$ respectievelijk $1,6 \text{ kg/m}^2$ (5 metingen) tegenover $3,3 \text{ kg/m}^2$ respectievelijk $5,3 \text{ kg/m}^2$ voor de betonmonsters van alle overige vlakken (12 metingen).

Noot: De horizontale bovenzijde van de wanden voldoen hiermee nagenoeg aan de vorstbestandheidsklasse F11 volgens NEN-EN 13877, waarbij het gemiddeld gemeten gewichtsverlies na 28 dagen kleiner dan $1,0 \text{ kg/m}^2$ moet zijn en alle individuele waarden kleiner dan $1,5 \text{ kg/m}^2$.

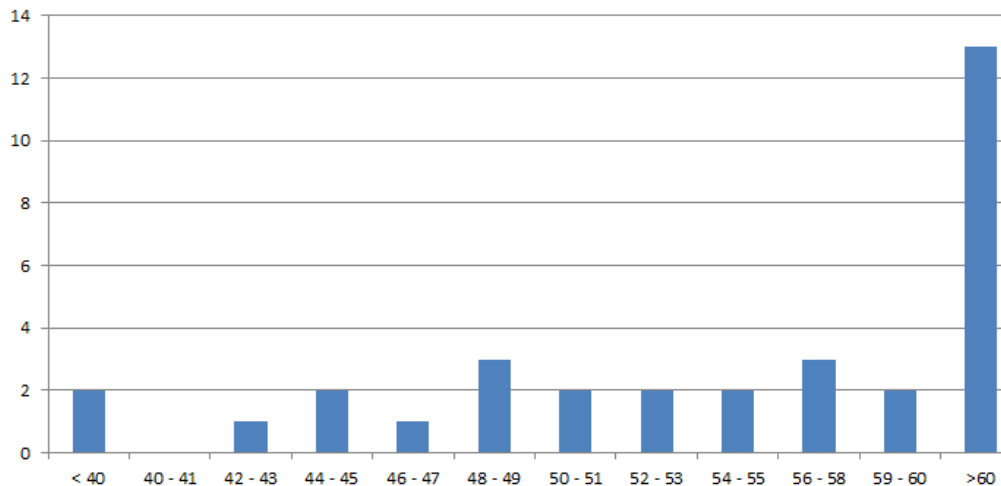
Tabel 5.1. Resultaten vorst-dooi metingen

Omschrijving							Massaverlies kg/m ²			
Moot	Kern nr.	Richting	Betreft	Locatie	bekleding	bi/bu	14 cycli	28 cycli	42 cycli	56 cycli
O3	2	n.v.t.	OG wand	bovenzijde	nee	bu	0,28	0,32	0,36	0,52
O3	3	zuid	wand	zij-onder	nee	bu	0,88	1,00	1,60	3,12
O3	6	zuid	wand	zij-boven	nee	bu	1,28	2,54	3,34	4,04
EK15	4	zuid	wand	zij-midden	ja	bu	0,00	0,02	2,38	3,40
EK15	5	noord	wand	zij-midden	ja	bu	2,56	2,76	3,04	3,30
EK15	8	n.v.t.	wand	bovenzijde	nee	bu	0,38	0,44	0,48	0,52
EK15	9	zuid	wand	zij-boven	nee	bu	0,24	0,32	0,38	0,42
O18	5	noord	wand	zij-midden	ja	bu	6,46	7,14	7,84	8,16
O18	6	noord	wand	zij-boven	nee	bu	4,72	7,18	8,20	9,46
O18	7	n.v.t.	wand	bovenzijde	nee	bu	1,48	1,78	2,10	2,72
O18	10	n.v.t.	wand	bovenzijde	nee	bu	0,88	1,00	1,70	2,34
O17	3	zuid	wand	zij-onder	ja	bu	5,64	6,22	7,36	7,84
O17	7	n.v.t.	wand	bovenzijde	nee	bu	0,70	1,00	1,20	2,26
O66	4	zuid	wand	zij-midden	ja	bu	3,20	3,76	5,10	5,64
O68	2	n.v.t.	wand	zij-boven	ja	bi	1,74	3,56	4,54	5,30
O68	5	n.v.t.	dak	n.v.t.	nee	bi	0,00	0,02	3,44	4,54
O68	7	n.v.t.	wand	zij-boven	ja	bi	4,26	5,62	7,00	8,48
Gemiddeld							2,04	2,63	3,53	4,24

5.4. Dekkingsmetingen

Volgens het bestek is voor alle zijden van de wanden en de daken een dekking voorgeschreven van 50 mm. Bij een 5-tal kernen was sprake van een dekking van circa 45 mm en bij 2 kernen werd een dekking van circa 37 mm waargenomen (zie tabel 5.2).

Tabel 5.2. Wapening dekkingsmetingen



Uit de steekproef van 33 dekkingsmetingen blijken er 9 metingen niet te voldoen aan de eis van minimum 50 mm dekking. Dit is circa 30 %. Voor verdere levensduurbeschouwingen zal daarom worden uitgegaan van een dekking van 45 mm. De onderschrijdingskans is in dit geval circa 9 %.

5.5. Carbonatatie dieptes

In tabel 5.3. zijn de gemeten carbonatatie dieptes weergegeven.

Open moten

Voor de open moten geldt een gemiddelde waarde van de gemeten carbonatatie diepte van circa 7 mm. (per kern zijn meerdere metingen verricht). De gemiddelde waarde van alle gemeten 'maximale waarden per kern' bedraagt circa 9,5 mm. Gelet op de ouderdom van het beton, tussen de 13 en 14 jaar, is dit geen verontrustend maximaal gemiddelde. Ook de gemeten individuele maximale waarden van de beproefde kernen: 11,5 tot 16 mm, is niet verontrustend hoog.

Gesloten moot

Voor wat betreft de onderzochte gesloten moot was het de verwachting dat er sprake zou zijn van een iets grotere carbonatatie diepte. Echter een verdubbeling van de waarden ten opzichte van de open moten werd niet verwacht → Gemiddelde carbonatatie diepte van alle metingen bedraagt 13,5 mm en het gemiddelde van de 'maximale waarden' van de onderzochte 3 kernen bedraagt 19,5 mm ^(zie opm 1).

Opmerking 1: De gemeten maximale carbonatieindringing betreft in dit geval niet een indringing over het gehele betonoppervlak maar betreft een zeer lokaal gedeelte (kanaal) in het beton.

Om te bepalen of het carbonatatiefront de wapening bereikt is de berekening volgens de 'Rijkswaterstaat Richtlijn' toegepast.

Deze berekeningswijze is gebaseerd op de bepaling van de empirische factor A van de volgende vergelijking:

$$X_{c,1} = A * \text{wortel}(t_1)$$

Waarin: $x_{c,1}$ = de gemeten carbonatatie diepte op tijd t_1
A = een empirisch bepaalde factor: mm/wortel(jaar)

Er is uitgegaan van een stortdatum van oktober 2001 voor alle onderdelen.

De bestekmatig voorgeschreven dekking bedraagt 50 mm, echter na onderzoek is gebleken dat het realistischer is om een dekking van 45 mm te hanteren (zie paragraaf 5.1.3). De aan te houden dekking wordt gebruikt om te bepalen of het carbonatatiefront na 100 jaar de wapening bereikt.

Zoals in tabel 5.3. te zien bestaat alleen in het gesloten deel de kans dat de wapening door het carbonatatiefront zal worden bereikt. Het is echter niet zo dat zodra het carbonatatiefront de wapening bereikt, hiermee ook einde levensduur van de constructie is bereikt, immers:

- indien het carbonatatiefront de wapening bereikt is weliswaar de bescherming voor de wapening verminderd, maar niet direct geheel verdwenen. Tevens is vocht in het beton benodigd om het wapeningstaal te laten corroderen, hier hoeft in de tunnel zeker niet altijd sprake van te zijn;
- er is in de berekening niet uitgegaan van gemiddeld gemeten waarden maar van de maximale waarden. Deze gemeten maximale carbonatatie diepte betreft in de meeste gevallen slechts een lokaal / smal deel van het onderzochte monster;
- nadat het corrosieproces van de wapening is ingezet, kan het afhankelijk van het constructieonderdeel nog geruime tijd duren voordat dit invloed heeft op de veilige berijdbaarheid van de Betuweroute, immers:
 - de gehanteerde dekking van 45 mm betreft een karakteristieke waarde, een groot deel van de wapening heeft een aanmerkelijk grotere dekking;
 - vanwege de scheurwijdte-eisen en praktische eisen is er in vrijwel alle gevallen meer wapening aanwezig dan voor de uiterste grenstoestand benodigd. Derhalve kan een zeker verlies (tot meer dan 10 %) in oppervlakte van de wapening optreden voordat het einde van de constructieve levensduur bereikt is.

Tabel 5.3. Overzicht Carbonatatie indringing

Omschrijving / locatie					Carbonatatie diepte (leeftijd 14 jr)				dekking	
Moot/kern	Betreft	locatie	Bekleding	bi/bu	gem. (mm)	max. (mm)	A-factor t.o.v. max	na 100 jr (mm)		
O3 K2	OG wand	bovenzijde	nee	buiten	3	5	1,34	13,36	45	
O3 K3	wand	zij-onder	nee	buiten	8	11,5	3,07	30,74	45	
O3 K5	wand	bovenzijde	nee	buiten	10,5	13,5	3,61	36,08	45	
EK15 K1	wand	zij-onder	nee	buiten	8,5	12	3,21	32,07	45	
EK15 K3	wand	zij-onder	nee	buiten	8	11	2,94	29,40	45	
EK15 K7	wand	bovenzijde	nee	buiten	4,5	6,5	1,74	17,37	45	
EK15 K9	wand	zij-boven	nee	buiten	2	4,5	1,20	12,03	45	
O18 K1	wand	zij-onder	ja	buiten	11,5	14,5	3,88	38,75	45	
O18 K3	wand	zij-onder	ja	buiten	11,5	16	4,28	42,76	45	
O18 K4	wand	zij-midden	ja	buiten	5,5	8,5	2,27	22,72	45	
O18 K8	wand	zij-boven	ja	buiten	3,5	5,5	1,47	14,70	45	
O17 K4	wand	zij-midden	ja	buiten	6	8,5	2,27	22,72	45	
O17 K8	wand	zij-boven	ja	buiten	7	9,5	2,54	25,39	45	
O66 K3	wand	zij-onder	ja	buiten	3,5	7	1,87	18,71	45	
O66 K7	wand	zij-boven	ja	buiten	8,5	12	3,21	32,07	45	
O68 K3	wand	zij-onder	ja	binnen	10	18,5	4,94	49,44	45	
O68 K6	dak	n.v.t.	nee	binnen	14	20,5	5,48	54,79	45	
O68 K10	wand	zij-boven	ja	binnen	16,5	19,5	5,21	52,12	45	
					Gemiddeld open deel				25,92	
					Gemiddel gesloten deel				52,12	
					Totaal gemiddeld				30,29	

5.6. Druksterkte

Van enkele kernen is een druksterkte onderzoek uitgevoerd volgens NEN-EN 12540-1, NEN-EN 12390-3:2009 en NEN-EN 12390-7:2009.

Volgens het 'Rijkswaterstaat Technisch Document 1018' (concept RTD 1018) kan voor de kubusdruksterkte, op basis van deze 4 proefstukken, een karakteristieke waarde van 47 N/mm² worden bepaald.

Uitgaande van het feit dat het betonmengsel destijds na 28 dagen een gemiddelde kubusdruksterkte had van 48 – 52 N/mm², kan met behulp van de Eurocode 2 worden bepaald dat de gemiddelde kubusdruksterkte na 10 jaar circa 65 N/mm² moet bedragen. Dit komt overeen met de in de praktijk gevonden waarde.

De mogelijke oorzaken waarom er aanzienlijke verschillen zijn aangetroffen ten opzichte van het in 2011 door AP CON BV uitgevoerde druksterkte onderzoek is reeds aangegeven in par. 2.1.a. Tijdens dat onderzoek werd met de Schmidt terugslaghamer, op basis van 6 onderzochte locaties, een gemiddelde betondruksterkte gemeten van 32 N/mm² met een minimum druksterkte van 22 N/mm².

Tabel 5.4. Overzicht Druksterke beton

Moot / kern	Betreft	Locatie	Volumieke massa [kg/m ³]	Druksterkte [N/mm ²]
O3 K1	wand	zij-onder	2350	54,3
EK15 K4	wand	zij-midden	2470	74,4
O18 K9	wand	zij-boven	2350	66,3
O68 K5	dak	n.v.t.	2340	64,7
		Gemiddeld		64,9

5.7. ASR en samenstelling (Petrografisch onderzoek)

In tabel 5.5. zijn de resultaten van het petrografisch onderzoek weergegeven.

In de rapportage van het laboratorium onderzoek wordt geen melding gemaakt van het feit of er vliegias is aangetroffen in de monsters. Navraag bij het laboratorium leert dat dit in geen van de onderzochte monsters het geval is geweest.

Het uitgevoerde petrografisch onderzoek bevestigt dat het bestekmatig voorgeschreven beton ook daadwerkelijk is gebruikt, gelet op de cementsoort, water cement factor en het niet toepassen van vliegias.

Ook is aangetoond dat de betonmortel in de meeste gevallen (enigszins) inhomogeen is geweest met bleeding / waterafscheiding tot gevolg. Afhankelijk van de mate van bleeding kan dit leiden tot de vorming van een betonhuid met een hogere water cement factor. Het betonoppervlak kan hierdoor van mindere kwaliteit zijn en kan onder andere gevoeliger zijn voor vorst / dooi wisselingen en voor de schurende werking van wind en regen.

In 1 van de onderzochte monsters is scheurvorming aangetroffen in de zogenaamde interfacial transition zone (overgangsgebied tussen korrel en cementsteen.) Alle overige monster vertonen geen scheurvorming.

Eind februari 2016 is besloten om de 7 stuks reserve boorkernen (zie par. 1.4.3) naar een laboratorium in Denemarken te versturen dat beschikt over onderzoeksmethoden waarbij zeer hoge nauwkeurigheid kan worden bereikt voor wat betreft de waterbindmiddel-factor, de toegepaste hoeveelheid cement en de capillaire porositeit. Er zal bij dit onderzoek ook duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen de kwaliteit van het oppervlakte beton en het dieper gelegen beton. De resultaten van dit onderzoek zullen niet meer worden opgenomen in deze rapportage maar worden vermeld in een separate memo.

Tabel 5.5. Resultaten Petrografisch onderzoek (onder andere ASR, WBF, evt. vliegasaandeel)

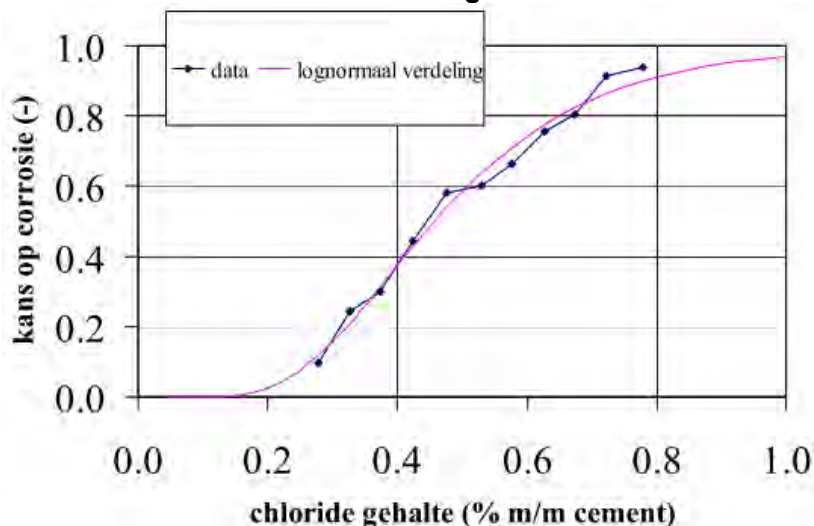
Kern positie/locatie in moot:	Moot 3 (kern 4)	Moot 15 (kern 1)	Moot 15 (kern 6)	Moot 17 (kern 7)	Moot 18 (kern 4)	Moot 68 (kern 3)
Aandeel cementsteen (%)	53	56	49	50	46	52
Aangetroffen cementsoort	CEM III	CEM III	CEM III	CEM III	CEM III	CEM III
Capillaire porositeit A ==> in gecarbonateerde zone B ==> dieper in betonkern	B: zeer dicht tot A: zeer poreus enigszins inhomogeen	B: zeer dicht tot A: zeer poreus inhomogeen	B: zeer dicht tot A: zeer poreus inhomogeen	Relatief homogeen	inhomogeen	zeer dicht tot zeer poreus inhomogeen
Spreiding gemeten WBF	0,35 - 0,65	0,35 - > 0,7	0,35 - ?	?	0,35 - 0,7	0,35 - 0,6
Aanname oorspronkelijke WBF	0,5	0,5	0,5	0,35	0,5	0,45
Sprake van bleeding?	nee	ja	ja	nee	ja	ja
Scheurvorming tussen cementsteen-korrel?	veel	geen	geen	geen	geen	geen
Sporen van ASR?	geen	geen	geen	geen	geen	geen

5.8. Chloridegehaltenes

Ondanks het feit dat de kans klein is dat het beton van de toeritten in aanraking komt met chlorides van buitenaf (dooizouten) is de bepaling van het chloridegehalte toch meegenomen in dit onderzoek omdat chlorides ook aanwezig kunnen zijn in het cement, toeslagstoffen, hulpstoffen en / of het aanmaakwater.

Algemeen kan de onderstaande grafiek worden gebruikt om na te gaan hoe groot de kans is op depassivering van het wapeningstaal ten opzichte van een bepaald chloridegehalte (% m/m cement).

Grafiek: Overzicht kritisch chloridegehalte



Grafiek afkomstig uit de CUR Leidraad 1 'Duurzaamheid van constructief beton met betrekking tot chloride geïnitieerde wapeningscorrosie'.

In tabel 5.6. zijn de chloridegehalten weergegeven van 5 boorkernen (gemeten op diverse diepten in de kern) Daar het gemeten chloridengehalten (% m/m cement) maximaal slechts 0,1 % bedraagt, kan worden gesteld dat chlorides geen bedreiging vormen voor het wapeningsstaal in het beton → De gemeten (geringe) chloridengehalten worden hoofdzakelijk veroorzaakt door ingemengde chlorides (onder andere toeslagmateriaal)

Tabel 5.6. Overzicht Chloridegehalten

Moot / Kern	diepte [mm]	cementgehalte [% m/m beton]	chloridengehalte [% m/m cement]	chloridengehalte [% m/m beton]
O3 - Kern 4 buitenwand / maaiveldzijde	0 - 10	14	0,1	0,01
	10 - 20	18	0,1	0,01
	20 - 30	14	0,1	0,01
	30 - 40	15	0,0	0,01
O18 - Kern 6 buitenwand / maaiveldzijde	0 - 10	18	0,0	0,00
	10 - 20	18	0,1	0,02
	20 - 30	19	0,1	0,01
	30 - 40	18	0,0	0,01
O68 - Kern 3 buitenwand / gesloten deel	0 - 10	13	0,0	0,00
	10 - 20	17	0,1	0,01
	20 - 30	15	0,0	0,01
	30 - 40	15	0,0	0,01
EK15 - Kern 1 buitenwand / binnenzijde	0 - 10	16	0,0	0,00
	10 - 20	13	0,1	0,01
	20 - 30	12	0,0	0,00
	30 - 40	11	0,0	0,00
EK15 - Kern 3 buitenwand / binnenzijde	0 - 10	19	0	0,01
	10 - 20	18	0,1	0,02
	20 - 30	16	0	0,01
	30 - 40	17	0	0,00

5.9. Porositeit

In tabel 5.7. zijn de gemeten waarden weergegeven voor de porositeit (bepaald middels geforceerde wateropname). De gemiddelde porositeit bedraagt circa 13,5 % dit is geen verontrustend hoge waarde voor beton van circa 15 jaar oud.

Tabel 5.7. Overzicht Porositeit

Moot / Kern	Volumieke massa / nat [kg/m ³]	Volumieke massa / droog [kg/m ³]	Porositeit [% (v/v)]
17 - Kern 8 Wand / zij-boven	2283	2260	12,4
O18 - Kern 7 Wand / bovenzijde	2530	2389	14,1
O18 - Kern 10 Wand / bovenzijde	2361	2222	13,9
O68 - Kern 10 Wand / zij-boven	2375	2238	13,7
EK15 - Kern 5 Wand / zij-midden	2383	2259	12,4
EK15 - Kern 7 Wand / bovenzijde	2371	2242	12,8
EK15 - Kern 8 Wand / bovenzijde	2376	2239	13,8
Gemiddeld			13,50%

5.10. Permeabiliteit

Het onderzoek naar de permeabiliteit is binnen dit 'totaal' onderzoek met name van belang om na te gaan of het 'doorslaan' van de betonnen keerwanden nabij het treinstation Barendrecht er debet aan is dat het tegelwerk van deze wanden los laat. Binnen dit onderzoek is ook nagegaan of er sprake is van permeabel (waterdoorlatend) beton om uit te sluiten dat grondwater in de betonwanden kan doordringen. Rapportage van de onderzochte betonconstructies 'buiten het spoor' vindt plaats middels een aparte notitie (bijlage IV).

In tabel 5.8. zijn de resultaten van het onderzoek weergegeven, er is sprake van een beperkte waterindringing.

Tabel 5.8. Overzicht Permeabiliteit

Moot / Kern	Maximale indringing [mm]	Gemiddelde indringing [mm]
O3 - Kern 1 Wand / zij-onder	26	22
O3 - Kern 2 OG wand / bovenzijde	22	16
17 - Kern 4 Wand / zij-midden	21	16
O18 - Kern 4 Wand / zij-midden	26	21
O18 - Kern 9 Wand / zij-boven	14	12
O66 - Kern 7 Wand / zij-boven	20	16
O68 - Kern 7 Wand / zij-boven	10	6
EK15 - Kern 9 Wand / zij-boven	17	11
	Gemiddeld	15

5.11. Luchtgehalte / luchtverdeling (Image Analysis)

Uit de onderzoeken is gebleken dat er geen lucht (door een luchtbelvormer) aan de betonmortel is toegevoegd hetgeen overeenkomt met de informatie uit de mengselcodes voor dit project.

6. AANVULLEND PETROGRAFISCH ONDERZOEK (PELCON)

6.1. Inleiding

Op 18 februari is de concept rapportage 'Inspectie / Onderzoek Betonkwaliteit en Advies herstel' besproken met ProRail. Tijdens dit overleg is aandacht besteed aan de mogelijke relatie tussen de porositeit in de gecarbonateerde toplaag van het beton en de geconstateerde, lokaal overvloedige, aanwezigheid van mos.

Ondanks het feit er in het geval van het onderzochte beton van de toeritten nauwelijks schade door vorst-dooi wisselingen is waargenomen, kan een hoge porositeit in de toplaag in combinatie met een verkeerde betonsamenstelling, schade door vorst-dooi wisselingen in de toekomst alsnog optreden. Om die reden zal de porositeit aan het (gecarbonateerde) oppervlak worden bepaald en zal tevens worden nagegaan wat de samenstelling van de betonmortel destijds is geweest.

6.2. Keuze laboratorium

Het destijds gekozen laboratorium (BAS Technology BV) beschikt niet over de mogelijkheid om de porositeit en de mortelsamenstelling van het beton met voldoende hoge nauwkeurigheid in de gecarbonateerde en / of geoxydeerde zones te bepalen.

Om toch duidelijkheid te krijgen in de hiervoor genoemde parameters (porositeit / mengsamenstelling) is besloten 7 boorkernen te laten onderzoeken door een hierin gespecialiseerd laboratorium in Denemarken (Pelcon Materials & testing ApS).

Door gebruik te maken van een zeer uitgebreide databank met verschillende betonsoorten, waarvan de samenstelling exact bekend is, is het voor Pelcon mogelijk om de porositeit en de samenstelling van het te onderzoeken beton met voldoende nauwkeurigheid te bepalen.

6.3. Boormonsters en locaties

6.3.1. Locaties

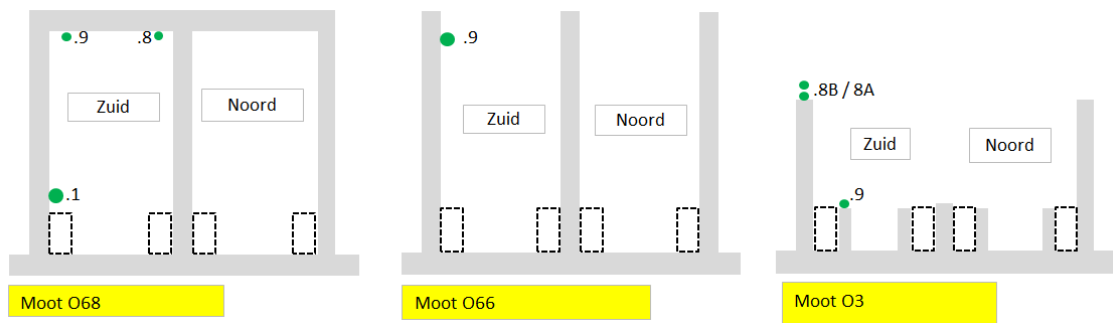
De 7 onderzochte betonmonsters zijn afkomstig uit de volgende moten (van de Oostelijke toerit):

- Moot 3 kern 8A bovenzijde zuid wand (Ø 100 mm);
- Moot 3 kern 8B bovenzijde zuid wand (Ø 100 mm);
- Moot 3 kern 9 bovenzijde zuidelijke geleide wand (Ø 100 mm);

- Moot 66 kern 9 boven-binnenzijde zuid wand (Ø 150 mm);

- Moot 68 kern 1 onder-binnenzijde zuid wand (Ø 150 mm);
- Moot 68 kern 8 onderzijde tunneldek (Ø 100 mm);
- Moot 68 kern 9 onderzijde tunneldek (Ø 100 mm).

Afbeelding 6.1. 'Schematisch overzicht genomen monsters'

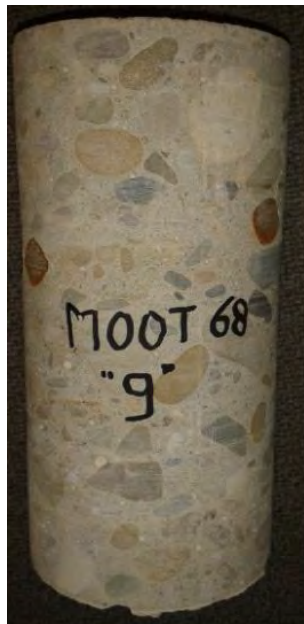


6.3.2. Boormonsters

Onderstaand zijn een aantal foto's van de onderzochte monsters weergegeven.

Afbeeldingen 6.2. Foto's van onderzochte monsters





6.4. Resultaten laboratoriumonderzoek

6.4.1. Porositeit

Van alle 7 boorkernen zijn zowel aan de bovenzijde als aan de onderzijde slijplaatjes gemaakt die vervolgens zijn onderworpen aan een petrografisch onderzoek. Van de slijplaatjes aan de bovenzijde van de monsters is zowel in de gecarbonateerde zone (3 tot 7 mm diep in de open moten en 7 tot 14 mm diep in de gesloten moot) als in de net daarvoor gelegen niet gecarbonateerde zone de porositeit bepaald.

Tevens is de porositeit diep in het beton bepaald waar niet alleen géén sprake is van carbonatatie en / of oxidatie, maar waar ook uitdroging, bleeding en dergelijke geen rol van betekenis hebben gespeeld op de uiteindelijke kwaliteit van het verharde beton.

Algemeen kan worden gesteld dat de porositeit van het cementsteen diep in het beton varieert tussen de 3 en 6 %, in de niet gecarbonateerde bovenlaag varieert deze tussen de 6 en 12 % en in de gecarbonateerde toplaag deze varieert tussen de 62 en 77 %.

6.4.2. Carbonatatie indringing

De gemeten carbonatatie indringing varieert voor het beton van de open moten (blootgesteld aan 'weer en wind') tussen de 3 en 7 mm wat overeen komt met eerdere onderzoeken en in de lijn der verwachtingen ligt voor het toegepaste beton.

Voor het beton van de gesloten moten varieert de indringing tussen de 8 en 14 mm. Het ontbreken van vocht en regen in de afgesloten tunnel vergemakkelijkt / versnelt de CO₂ indringing waardoor de gemeten waarden, zoals verwacht, hoger zijn. Ook deze waarden komen overeen met eerdere metingen.

6.4.3. Controle mengselsamenstelling

Uit de kwaliteitsdocumenten uit het opleverdossier is bekend wat de mengselsamenstelling van het onderzochte beton zou moeten zijn. Uiteraard kunnen er zich in de praktijk situaties hebben voorgedaan die ertoe hebben geleid dat er een ander betonmengsel is toegepast.

Om na te gaan of er inderdaad sprake is van een trend in afwijkende mengselsamenstellingen zijn de geleverde monsters op samenstelling onderzocht.

Tabel 6.1 Analyse betonmengsel

Toegepast mengsel	M3-8A		M3-8B		M3-9		M66-9		M68-1		M68-8		M68-9		
w/c factor	0,48	0,45	-6%	0,46	-4%	0,38	-21%	0,4	-17%	0,45	-6%	0,41	-15%	0,41	-15%
grind 4-16 mm [kg]	1046	961	-8%	959	-8%	886	-15%	1203	15%	940	-10%	1196	14%	1049	0%
zand 0-4 mm [kg]	789	854	8%	839	6%	904	15%	671	-15%	828	5%	674	-15%	787	0%
cement [kg]	360	387	8%	390	8%	437	21%	385	7%	410	14%	382	6%	398	11%
vliegas [kg]	0	< 18	-	< 18	-	< 18	-	< 18	-	< 18	-	< 18	-	< 18	-
water [kg]	173	174	1%	180	4%	166	-4%	154	-11%	184	6%	157	-9%	163	-6%

De volgende opmerkingen moeten in ogenschouw worden genomen bij de tabel:

- de uitkomsten van het laboratorium onderzoek zijn vergeleken met een willekeurige, representatieve, afleverbon van het beton met mengselcode 8c (mengsel 8c is voor nagenoeg alle wanden en dekken toegepast). De afleverbon is opgenomen in par. 2.3 van deze rapportage. De gegevens van deze afleverbon zijn in bovenstaande tabel overgenomen in de kolom 'Toegepast mengsel';
- de op de afleverbon vermelde hoeveelheid cement, water en daarmee de w/c-factor zijn vaste waarden en gelden voor iedere betonleverantie waarbij het mengsel '8c' is toegepast. De hoeveelheid grind en zand kan per betonstort tot circa 10 % variëren;
- in 3 gevallen is er sprake van een afwijking van meer dan 15 % ten opzichte van het mengsel zoals genoemd op de afleverbon;
- in alle onderzochte kernen is er sprake van méér toegepast cement dan op de afleverbon vermeld met daarbij een lagere w/c-factor. Doorgaans duidt dit op een uiteindelijk betere kwaliteit beton (gelet op vorst-dooi bestandheid, sterkte et cetera).

Overige bevindingen

- Er is door Pelcon Materials & Testng geconstateerd dat zich in het betonmengsel een geringe hoeveelheid vliegias bevindt. Dit vliegias is niet 'op bestelling' aan het mengsel toegevoegd. De leverancier van het cement (ENCI-Rotterdam) heeft waarschijnlijk gebruik gemaakt van de ruimte '5 % overige bestanddelen' om vliegias toe te voegen aan het cement. Deze geringe vliegias hoeveelheden (maximaal 18 kg/m³) zijn tijdens het eerdere uitgevoerde onderzoek niet opgevallen;
- uit het petrografisch onderzoek blijkt dat het bovenoppervlak van de wanden van moot O3 in zeer geringe mate schade vertoont door vorst-dooi wisselingen. Tevens worden in de uiterste bovenlaag sporen van biologische aangroei aangetroffen. De hiervoor genoemde aantastingen blijven beperkt tot de buitenste 0,1-0,5 mm van het beton. Gelet op de zeer beperkte indringing, zijn deze waarnemingen niet zorgwekkend;
- boormonster 8 van moot O68 vertoont een scheur in het midden van de kern. De reden hiervan is dat het dek van moot O68 in dwarsrichting volledig is gescheurd (niet watervoerend). Deze scheur is hoogstwaarschijnlijk ontstaan tijdens de verhardingsfase van het gestorte dek.

7. CONCLUSIE

- Er zijn geen ernstige tekortkomingen geconstateerd bij de toeritten van de Sophia Spoortunnel. Wel is er lokaal aanmerkelijke mosgroei waargenomen, dit mos kan door het watervasthoudend vermogen de kans op waterverzadiging van het beton, en daarmee kans op vorstschade, vergroten. Er is geconstateerd dat het mos zelf geen schade van belang aan het betonoppervlak veroorzaakt. Hierbij moet worden opgemerkt dat het beton ter plaatse van de Westelijke toerit (gelegen op het rangeerterrein Kijfhoek) aanzienlijk minder mos bevat dan het beton van de Oostelijke toerit;
- uit de verrichte vorst-dooi onderzoeken blijkt dat de horizontale bovenzijden van de wanden een redelijke vorst-dooi bestandheid bezitten. De verticale vlakken van de wanden en het dak bezitten een minder goede vorst / dooi bestandheid. Daar er waarschijnlijk tot op heden bij deze verticale vlakken zelden of nooit sprake is geweest van een hoge water-verzadigingsgraad, heeft dit in de praktijk niet geleid tot schade als gevolg van vorst-dooi wisselingen. Omdat de condities van de genormaliseerde vorst-dooiproef zich niet (eenvoudig) laten vergelijken met de werkelijke omstandigheden in Nederland kan dan ook niet met zekerheid worden gesteld of de uitkomst van de proef invloed heeft op het bereiken van een technische levensduur van het beton van 100 jaar. Echter gelet op wat is waargenomen vanuit de huidige levensduur (> 10 jaar), is de verwachting dat gedurende de restlevensduur er geen aanzienlijke schade door vorst-dooi wisselingen zal optreden;
- volgens de berekening van de 'Rijkswaterstaat richtlijn' bereikt de carbonatatie indringing in de gesloten toerit in een enkel geval de wapening binnen de levensduur van het kunstwerk van 100 jaar. Dit betekent dat onder ongunstige condities de wapening zou kunnen depassiveren en vervolgens corroderen. Gelet op het feit dat de ter plaatse gemeten carbonatatie indringing niet een 'front' betreft maar een zeer lokaal/smal gedeelte in het beton én het feit dat er in de gesloten toeritten sprake is van een relatief droog milieu, wordt de zeer geringe overschrijding van de gemeten carbonatatie indringing, in relatie tot de dekking van de wapening, niet als een bedreiging gezien voor de veilige berijdbaarheid én het bereiken van de 100 jarige levensduur;
- behoudens moot O3 is er tijdens het petrografisch onderzoek geen scheurvorming in het beton aangetroffen die zou kunnen duiden op schade door vorst-dooi wisselingen. Grondige visuele beoordeling leert het volgende:
 - alle verticale betonoppervlakken vertonen geen vormen van verwerking en/of vorst-dooi schade, dit geldt ook voor moot O3;
 - de horizontale vlakken (bovenzijde ontsporing geleide wanden en bovenzijde tunnelmoot wanden) zijn niet- tot matig begroeid met mos. De bovenzijden vertonen tekenen van verwerking (regen / wind) en / of geringe afschilfering als gevolg van vorst-dooi wisselingen;
 - het feit dat er bij de Westelijke toerit sprake is geweest van een ander uitvoeringsteam met bijbehorend regiem, een andere betonleverancier en daar sprake is van minder mosgroei, zegt volgens de onderzoeksresultaten niets over het "visuele" kwaliteitsverschil van het beton tussen de toeritten Oost (Papendrecht) en West (Kijfhoek);
- conform de verwachting bezit het beton in de gecarbonateerde toplaag een veel hogere porositeit (gemiddeld circa 70 %). Op de vergrotingen van de slijp plaatjes is duidelijk te zien dat een dusdanig poreus oppervlak een ideale bodem is voor biologische aangroei / aantasting (zie rapportage van Pelcon Materials & Testing, bijlage V, figuur 19 op pagina 27). Genoemde hoge porositeit in de gecarbonateerde zone brengt met zich mee dat hier regenwater c.q. vocht langer en gemakkelijker kan worden vastgehouden. Een vochtige omgeving (open tunnelmooten) in combinatie met een hoge porositeit bevordert de aangroei van mossen.

Vornoemde constatering met betrekking tot de toplaag van het beton hebben tot nu toe echter niet / nauwelijks schade door vorst-dooi wisselingen en/of schade door mos-groei geleid. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat de gemeten hoge porositeit in de gecarbonateerde toplaag, in combinatie met het hier toegepaste betonmengsel, een bedreiging zal vormen voor de resterende levensduur (90 jaar) van het beton.

- de resultaten van het betonmengsel-onderzoek (Pelcon) bevestigen dat het mengsel dat destijds is voorgeschreven ook daadwerkelijk is toegepast;
- er kan om esthetische redenen worden besloten het mos van de bovenzijde van de wanden te verwijderen. Het verwijderen van mos / biologische aangroei kan echter wel tot gering delamineren van het betonoppervlak leiden.

Algemeen

Vornoemde conclusies zeggen niets over de betonkwaliteit van de overige kunstwerken van de Betuweroute. Deze zijn mogelijk met andere contractvormen tot stand gekomen (Design and Construct? Alliantie?), gebouwd door andere aannemers en gemaakt met beton van andere betoncentrales et cetera. Dit zijn factoren die mogelijk andere betonkwaliteiten met zich meebrengen.

8. AANBEVELING

- Daar waar mosgroei een gevaarlijke situatie kan opleveren (schouwpaden, toegangstrappen) of vanuit esthetisch oogpunt de aanwezigheid van mos ongewenst is, kan er voor worden gekozen het mos te verwijderen en het gereinigde oppervlak goed vast te leggen. Tijdens opvolgende schouwen kan worden vastgesteld óf, in welk tijdsbestek en in welke mate, het mos terugkeert. Deze aanbeveling kan worden gedaan omdat is waargenomen dat het verwijderen van mos, in het geval van de Sophia Spoortunnel, nauwelijks invloed heeft op de toplaag van het beton;
- een archiefonderzoek van de overige kunstwerken wordt aanbevolen om na te gaan in hoeverre er sprake is van afwijkend toegepaste betonmengsels, wijze van uitvoering, nabehandeling et cetera. Vervolgens kan een visuele inspectie in combinatie met een eenvoudig onderzoek naar de carbonatatie indringing, en eventueel hierop aansluitend een porositeit- en petrografisch onderzoek een indruk geven van de conditie van het beton.

BIJLAGE I VISUELE WAARNEMINGEN TIJDENS BOREN VAN DE KERNEN

Afbeelding I.1. Representatief beeld voor het betonoppervlak moot O3



Afbeelding I.2. Representatief beeld voor het betonoppervlak moot O17



Afbeelding I.3. Representatief beeld voor het betonoppervlak moot O18



Afbeelding I.4. Representatief beeld voor het betonoppervlak moot 068



Afbeelding I.5. Representatief beeld voor het betonoppervlak moot 068



Afbeelding I.6. Representatief beeld voor het betonoppervlak moot EK15



Afbeelding I.7. Representatief beeld voor het betonoppervlak moot EK15



**BIJLAGE II MATERIAALKUNDIG ONDERZOEK BAS RESEARCH EN TECHNOLO-
GY**

B|A|S Rapport: 2015-0974-001
Onderwerp: Materiaalkundig onderzoek
Sophia Spoortunnel
STATUS: DEFINITIEF

Datum rapport: 8 januari 2016

Oprachtgever: Railinfra Solutions V.O.F

Adres opdrachtgever: Leidseveer 4
3511 SB Utrecht
Nederland

Datum rapport	Status rapport	Versie	Opmerking
29 oktober 2015	Concept	C1	Tussentijdse rapportage
1 december 2015	Concept	C2	Aanvulling ASR onderzoek, Image analysis
11 december 2015	Concept	C3	Aanpassing berekening image-analysis
18 december 2015	Concept	C4	Ontbrekende gegevens en vorstdooi resultaten toegevoegd
8 januari 2016	Definitief	D1	Opmerkingen Railinfra Solutions verwerkt

Projectnaam: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Projectnummer: 2015-0974
Datum onderzoek: 2 september 2015

Auteur: ir. S. Leurs

Thema: Betonschade
Vorstdooi onderzoek, carbonatatie, chloridenprofiel,
petrografisch onderzoek, druksterkte, porositeit,
Trefwoorden: waterabsorptie

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/ of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van BAS.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor Onderzoekopdrachten aan BAS', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het BAS-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

BAS[®]

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Monstermateriaal	3
3	Laboratoriumonderzoek	4
3.1	Visuele inspectie cilinders	4
3.1.1	Moot 3	4
3.1.2	Moot 15	4
3.1.3	Moot 17	4
3.1.4	Moot 18	5
3.1.5	Moot 66	5
3.1.6	Moot 68	6
3.1.7	Moot X-serie 1 (keerwanden Barendrecht)	6
3.1.8	Moot X-serie 2 (buitenwanden overkapping station Barendrecht)	7
3.1.9	Moot X-serie 3 (wanden wandelpromenade station Barendrecht)	7
3.1.10	Moot X-serie 4	7
3.2	Carbonatatie	8
3.3	Chloridengehalte	8
3.4	Druksterkte	9
3.5	Porositeit	10
3.6	Permeabiliteit	11
3.7	Vorstdooi onderzoek	11
3.8	Petrografisch onderzoek	12
3.8.1	Moot 3, kern 4	12
3.8.2	Moot 15, K1	12
3.8.3	Moot 15, kern 6	13
3.8.4	Moot 17, kern 7	13
3.8.5	Moot 18, kern 4	14
3.8.6	Moot 68, kern 3	14
3.8.7	Moot X, kern 9A	15
3.8.8	Moot X, kern 10A	15
3.9	Image analysis	16
3.9.1	Moot 3, kern 4	17
3.9.2	Moot 15, kern 1	17
3.9.3	Moot 15, kern 5	18
3.9.4	Moot 17, kern 3	19
3.9.5	Moot 66, kern 7	20
3.9.6	Moot 68, kern 6	21
4	Samenvatting resultaten	22

1 Inleiding

In opdracht van Railinfra Solution B.V. heeft BJ|S Research & Technology onderzoek verricht aan een aantal ontvangen boorkernen. De cilinders zijn afkomstig van de Sophia Spoortunnel gelegen in de Betuwe route, een goederenspoorlijn tussen de haven van Rotterdam en Duitsland. Het begin van de geboorde tunnel ligt op het rangeerterrein Kijfhoek in de gemeente Zwijndrecht en het einde is vlakbij Papendrecht.

In voorliggende rapportage zijn de resultaten van het materiaalkundige onderzoek weergegeven.

2 Monstermateriaal

De exacte locatie van het monstermateriaal in de constructie is bij BJ|S onbekend.

In onderstaande tabel is een overzicht weergegeven van de aangeleverde cilinders met daarbij ook de onderzoeken weergegeven dat op elke cilinder is uitgevoerd.

Codering	Visuele inspectie	Carbonatatie	ASR	Chloriden profiel	WBF / Vliegashalte	Druksterkte Volumieke massa	Image Analyses	Porositeit	Permeabiliteit	Vorstdooi
MT3 K1	X					X			X	
MT3 K2	X	X							X	X
MT3 K3	X	X								X
MT3 K4	X		X	X	X		X			
MT3 K5	X	X								
MT3 K6	X									X
MT15 K1	X	X	X	X	X		X			
MT15 K3	X	X		X						
MT15 K4	X					X				X
MT15 K5	X						X	X		X
MT15 K6	X		X		X					
MT15 K7	X	X						X		
MT15 K8	X							X		X
MT15 K9	X	X							X	X
MT17 K3	X						X			X
MT17 K4	X	X							X	
MT17 K7	X		X		X					X
MT17 K8	X	X						X		
MT18 K1	X	X								
MT18 K3	X	X								
MT18 K4	X	X	X		X				X	
MT18 K5	X									X
MT18 K6-1	X			X						
MT18 K6-2	X									X
MT18 K7	X							X		X
MT18 K8	X	X								
MT18 K9	X					X			X	
MT18 K10	X							X		X
MT66 K3	X	X								
MT66 K4	X									X
MT66 K7	X	X					X		X	
MT68 K2	X									X
MT68 K3	X	X	X	X	X					
MT68 K4	X									
MT68 K5	X					X				X
MT68 K6	X	X					X			
MT68 K7	X								X	X
MT68 K10	X	X						X		
X1	X	X				X		X		
X2	X	X							X	
X3	X	X							X	
X4	X	X								X
X5	X	X				X				
X6	X	X								
X7	X	X								
X8 boven	X	X								
X8 onder	X	X								
X9 A	X	X			X					X
X9 B	X	X				X				
X10 A	X	X			X					X
X10 B	X	X				X				
TOTAAL	51	31	6	5	8	8	6	8	10	20

Tabel 1: Overzicht onderzoeken

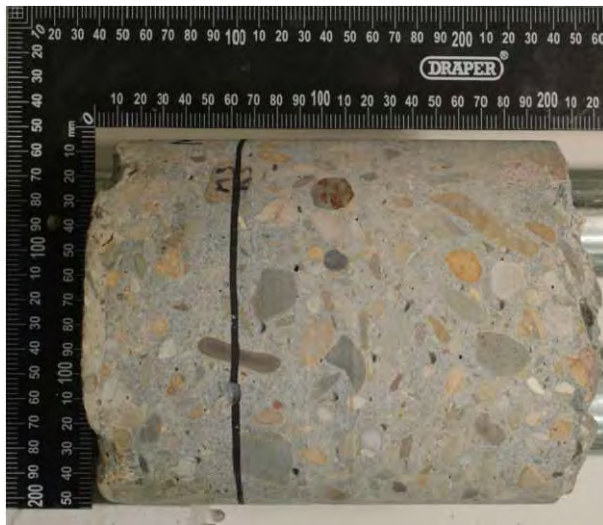
3 Laboratoriumonderzoek

3.1 Visuele inspectie cilinders

De visuele inspectie van de cilinders is hieronder samengevat per onderzochte moot. De volledige visuele inspectie is toegevoegd aan de bijlage.

3.1.1 Moot 3

De cilinders zijn over het algemeen matig tot slecht verdicht. In een aantal cilinders is er sprake van veel, middelgrote tot grote luchtbellen. In andere cilinders is de verdichting beter en is er sprake van een geringe hoeveelheid kleine luchtbellen. Het toeslagmateriaal is kwartsachtig en gaaf en heeft een D_{\max} van 16 mm. Er zijn geen onvolkomenheden zoals waterlenzen en segregatie aangetroffen.



Figuur 1: Kern uit moot 3.

3.1.2 Moot 15

De cilinders uit deze moot afkomstig zijn over het algemeen matig verdicht. Er is sprake van een weinige tot matige hoeveelheid kleine en middelgrote luchtbellen. Het toeslagmateriaal is kwartsachtig en gaaf en heeft een D_{\max} van 16 mm. Er zijn geen onvolkomenheden zoals waterlenzen en segregatie aangetroffen.



Figuur 2: Kern uit moot 15.

3.1.3 Moot 17

De cilinders afkomstig uit moot 17 laten over het algemeen een goede verdichting zien met weinig luchtbellen met een kleine afmeting. Het toeslagmateriaal is kwartsachtig en gaaf en heeft een D_{\max} van 16 mm. Er zijn geen onvolkomenheden zoals waterlenzen en segregatie aangetroffen.



Figuur 3: Kern uit moot 17.

3.1.4 Moot 18

De cilinders afkomstig uit moot 18 zijn over het algemeen matig tot goed verdicht. Er is in enkele cilinders sprake van een matige hoeveelheid middelgrote luchtbellens. In andere cilinders is sprake van een geringe hoeveelheid kleine luchtbellens. Twee cilinders zijn halverwege afgebroken nabij de wapening. Vermoedelijk is deze breuk ontstaan bij monsternamen. Het toeslagmateriaal is rond, kwartsachtig en gaaf. Er zijn geen onvolkomenheden als waterlenzen of segregatie aangetroffen.



Figuur 4: Kern afkomstig uit moot 18.

3.1.5 Moot 66

De cilinders afkomstig uit moot 66 laten een matig tot goed verdicht beton zien. Er is sprake van een matige hoeveelheid luchtbellens met kleine tot middelgrote afmetingen. Eén cilinder is halverwege op de wapening afgebroken. Vermoedelijk is dit gebeurd tijdens de monsternamen. Het toeslagmateriaal is rond, kwartsachtig en gaaf en heeft een D_{max} van 16 mm. Er zijn geen onvolkomenheden als waterlenzen of segregatie aangetroffen.



Figuur 5: Kern afkomstig uit moot 66.

3.1.6 Moot 68

De cilinders afkomstig uit moot 68 laten over het algemeen een matig verdicht beton zien met een matige hoeveelheid klein tot middelgrote luchtbellens. Eén kern is halverwege afgebroken nabij de wapening. Vermoedelijk is dit gebeurd tijdens de monsterneming. Het toeslagmateriaal is rond, kwartsachtig en gaaf en heeft een D_{max} van 16 mm. Er zijn geen onvolkomenheden aangetroffen zoals segregatie en/of waterlenzen.



Figuur 6: Kern afkomstig uit moot 68.

3.1.7 Moot X-serie 1 (keerwanden Barendrecht)

De cilinders afkomstig uit moot X serie 1 zijn afkomstig van de betonnen keerwanden in de gemeente Barendrecht en laten een matige tot slechte verdichting zien met een aanzienlijke hoeveelheid middelgrote tot grote luchtbellens. Het toeslagmateriaal is rond, kwartsachtig en gaaf en heeft een D_{max} van ± 16 mm. Er zijn geen onvolkomenheden aangetroffen zoals segregatie en/of waterlenzen.



Figuur 7: Kern afkomstig uit moot X2.

3.1.8 Moot X-serie 2 (buitenwanden overkapping station Barendrecht)

De cilinders afkomstig uit moot X serie 2 zijn afkomstig van de buitenwanden overkapping station Barendrecht en laten een goede tot slechte verdichting zien met een aanzienlijke hoeveelheid middelgrote tot grote luchtbellens. Cilinder X4 bevat een scheur met een scheurwijdte van $\pm 0,3$ mm ter hoogte van de wapening. Het toeslagmateriaal is rond, kwartsachtig en gaaf en heeft een Dmax van ± 16 mm. Er zijn geen onvolkomenheden aangetroffen zoals segregatie en/of waterlenzen.



Figuur 8: Kern afkomstig uit moot X4.

3.1.9 Moot X-serie 3 (wanden wandelpromenade station Barendrecht)

De cilinders afkomstig uit moot X serie 3 zijn afkomstig van de wanden van de wandelpromenade bij station Barendrecht en laten een goede verdichting zien met weinig, kleine luchtbellens. Het toeslagmateriaal is rond, kwartsachtig en gaaf en heeft een Dmax van ± 16 mm. Er zijn geen onvolkomenheden aangetroffen zoals segregatie en/of waterlenzen.



Figuur 9: Kern afkomstig uit moot X6.

3.1.10 Moot X-serie 4 (deksloof Hendrik-Ido-Ambacht en Papendrecht)

De cilinders afkomstig uit moot X serie 4 zijn geboord ter plaatse van de deksloof van de grondsculptuur van Hendrik-Ido-Ambacht en Papendrecht en laten een matige tot slechte verdichting zien met een grote hoeveelheid middelmatige tot grote luchtbellens. Het toeslagmateriaal is rond, kwartsachtig en gaaf en heeft een Dmax van ± 16 mm. Er zijn geen onvolkomenheden aangetroffen zoals segregatie en/of waterlenzen.



Figuur 10: Kern afkomstig uit moot X9.

3.2 Carbonatatie

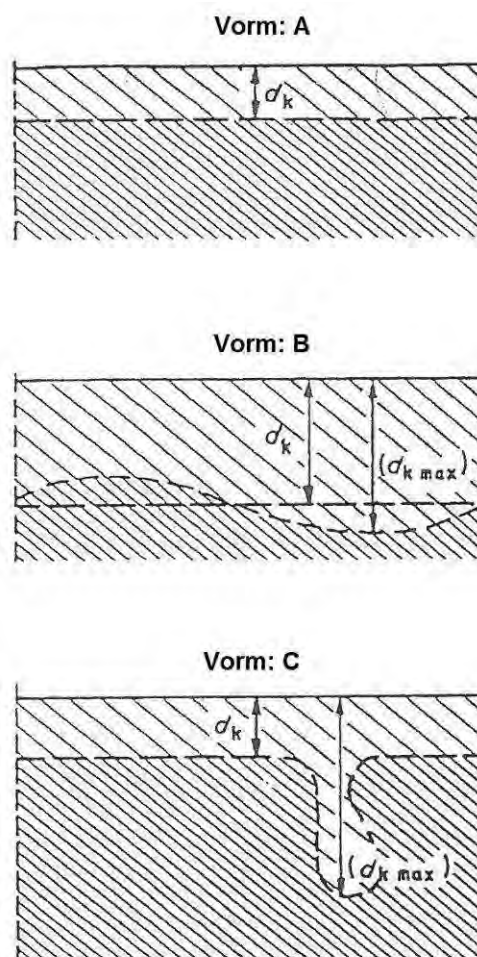
Carbonatatie is het proces waarbij het beton reageert met de koolstofdioxide uit de lucht. De snelheid waarmee het carbonatatiefront voortschrijdt is o.a. afhankelijk van de permeabiliteit van de deklaag. Wanneer het carbonatatiefront de wapening bereikt kan deze de zogenaamde passiveringslaag op de wapening aantasten. Er is nu nog geen sprake van corrosie. Echter indien water en zuurstof de wapening bereikt ontstaat er een vergrote kans op corrosie.

Carbonatatie zorgt voor een verlaging van de heersende pH. Door middel van een indicator voor de pH kan het carbonatatiefront zichtbaar worden gemaakt. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van Fenolftaleïne. Deze indicatorvloeistof blijft kleurloos bij een pH kleiner dan 9. De vloeistof kleurt paars bij een pH > 9 á 10.

Het onderzoek naar de carbonatatediepte is uitgevoerd conform RILEM CPC 18. In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven van het carbonatatie onderzoek.

monstercode	gemiddeld	max	verloop
	[mm]	[mm]	
MT3 K2	3	5	b
MT3 K3	8	11,5	b
MT3 K5	10,5	13,5	b
MT17 K4	6	8,5	b
MT17 K8	7	9,5	b
MT18 K1	11,5	14,5	b
MT18 K3	11,5	16	c
MT18 K4	5,5	8,5	b
MT18 K8	3,5	5,5	b
MT66 K3	3,5	7	b
MT66 K7	8,5	12	b
MT68 K3	10	18,5	c
MT68 K6	14	20,5	c
MT68 K10	16,5	19,5	b
MT15 K1	8,5	12	b
MT15 K3	8	11	b
MT15 K7	4,5	6,5	b
MT15 K9	4,5	2	b
X1	8,5	17	c
X2	4	6	b
X3	4,5	8,5	b
X4	27,5	37,5	b
X5	17	23	b
X6	0	0	a
X7	0	0	a
X8 boven	4	5,5	b
X8 onder	5	11	c
X9 A	0	0	a
X9 B	0	0	a
X10 A	3,5	6,5	b
X10 B	4,5	5,5	b

Tabel 2: Resultaten carbonatatieonderzoek.



3.3 Chloridengehalte

Het onderzoek naar het chloridengehalte is uitgevoerd conform BSW-rapport 96-01. Van elk monster is per laag een minimale monstermassa van 10 gram gebruikt voor de natchemisch gecombineerde bepaling van cement- en chloridegehalte. Ter ontsluiting van het monstermateriaal is salpeterzuur toegepast. De chloridetitratie is uitgevoerd middels directpotentiometrie. Voor dit onderzoek zijn per cilinder vier schijfjes onderzocht met een dikte van ±10 mm.

In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven.

monstercode	diepte [mm]	cementgehalte [% m/m beton]	chloridgehalte [% m/m cement]	chloridgehalte [% m/m beton]
MT3 K4	0-10	14	0,1	0,01
	10-20	18	0,1	0,01
	20-30	14	0,1	0,01
	30-40	15	0,0	0,01
MT18 K6-1	0-10	18	0,0	0,00
	10-20	18	0,1	0,02
	20-30	19	0,1	0,01
	30-40	18	0,0	0,01
MT68 K3	0-10	13	0,0	0,00
	10-20	17	0,1	0,01
	20-30	15	0,0	0,01
	30-40	15	0,0	0,01
MT15 K1	0-10	16	0,0	0,00
	10-20	13	0,1	0,01
	20-30	12	0,0	0,00
	30-40	11	0,0	0,00
MT15 K3	0-10	19	0,0	0,01
	10-20	18	0,1	0,02
	20-30	16	0,0	0,01
	30-40	17	0,0	0,00

Tabel 3: Resultaten chloridenonderzoek.

Het chloridgehalte wordt bepaald in massapercentage chloriden ten opzichte van cement. Het kritisch chloridgehalte, waarbij corrosie plaatsvindt, kan variëren. Dit is onder meer afhankelijk het milieu waarin zich de constructie bevindt (temperatuur en vochtigheid), maar ook bijvoorbeeld van de betonkwaliteit (type cement, permeabiliteit e.d.). In de richtlijn van Rijkswaterstaat (RL-CRCI V1.0 JoGu) wordt aangenomen dat er zeker geen corrosie optreedt bij een waarde kleiner dan 0,15% m/m cement en er zeker corrosie ontstaat als het chloridgehalte boven 0,90% m/m cement komt.

Uit bovenstaande resultaten volgt dat er geen risico op chloridgeinitieerde wapeningscorrosie wordt verwacht. De waarden zijn immers allemaal lager dan 0,1% m/m cement.

3.4 Druksterkte

Het druksterkteonderzoek is uitgevoerd volgens NEN-EN 12540-1, NEN-EN 12390-3:2009 en NEN-EN 12390-7:2009. De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in onderstaande tabel.

monstercode	hoogte	diameter	massa	volumieke massa	gemeten druksterkte	werkelijke druksterkte**
	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m ³]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
MT3 K1	76	104	1513	2350	63,9	54,3
MT18 K9	55	75	565	2320	78,1	66,3
MT68 K5	90	95	1480	2340	64,7	64,7
MT15 K4	94	95	1646	2470	74,4	74,4
X1	69	95	1104	2280	64,0	54,4
X5	103	95	1711	2380	70,3	70,3
X9 B	81	95	1340	2340	94,5	90,7
X10 B	87	95	1416	2320	63,6	61,0
min:				2280	63,6	54,3
max:				2470	94,5	90,7
gemiddelde:				2350	71,7	67,0

Tabel 4: Resultaten druksterkte.

De druksterkteklasse kan vervolgens worden bepaald aan de hand van approach B beschreven in NEN-EN 13791: 2007. Uit deze norm volgt de karakteristieke in-situ druksterkte uit de laagste waarde van:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k$$

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$$

In deze formules staat $f_{ck, is}$ voor de karakteristieke in-situ sterkte, $f_{m(n), is}$ voor de gemiddelde gevonden in-situ sterkte, $f_{is, lowest}$ voor de laagste in-situ waarde en k voor een van het aantal geteste cilinders afhankelijke constante.

De waarde van k kan worden afgelezen uit onderstaande tabel.

Hoeveelheid proefstukken (n)	k
10 tot 14	5
7 tot 9	6
3 tot 6	7

Tabel 5: Factor k conform NEN-EN 13791

Voor dit onderzoek geldt hiermee dat de karakteristieke waarde de kleinste waarde is van:

$$f_{ck, is} = 67,0 - 6 = 61,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck, is} = 54,3 + 4 = 58,3 \text{ N/mm}^2$$

Hieruit volgt een betondruksterkteklasse C55/67 volgens NEN-EN 206.

3.5 Porositeit

De porositeit is gemeten middels een test voor geforceerde wateropname conform NEN 3873. Voor de uitvoering van de test zijn de proefstukken in een met water gevulde ketel geplaatst en gedurende een bepaalde tijd gekookt. Vervolgens is de massa van de proefstukken bepaald zowel boven als onder water en zijn de proefstukken teruggedroogd tot constante massa. Aan de hand van de meetdata is de mate van wateropneming bepaald.

De resultaten van het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

monstercode	onderwater	bovenwater	droog	volume	volumieke massa (nat)	volumieke massa (droog)	geforceerde wateropname
	m_1	m_2	m_3				
	[g]	[g]	[g]				
MT17 K8	624,6	1076,1	1020,2	451,5	2383	2260	12,4
MT18 K7	670,3	1108,5	1046,7	438,2	2530	2389	14,1
MT18 K10	548,6	951,7	895,5	403,1	2361	2222	13,9
MT68 K10	615,6	1063,4	1002	447,8	2375	2238	13,7
MT15 K5	509,2	877,5	831,9	368,3	2383	2259	12,4
MT15 K7	496,9	859,4	812,9	362,5	2371	2242	12,8
MT15 K8	449,7	776,4	731,4	326,7	2376	2239	13,8
X1	572,4	936,4	884,9	364,0	2573	2431	14,1

Tabel 6: Resultaten geforceerde wateropname.

3.6 Permeabiliteit

Het onderzoek naar de permeabiliteit is uitgevoerd conform NEN-EN 12390-8. Hiervoor worden de cilinders onder een waterdruk van 500 kPa gezet gedurende een periode van 72 uur. Na uitvoeren van de test worden de monsters gespleten en wordt de indringdiepte bepaald.

De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in onderstaande tabel.

monstercode	maximale	gemiddelde
	indringing [mm]	indringing [mm]
MT3 K1	26	22
MT3 K2	22	16
MT15 K9	17	11
MT17 K4	21	16
MT18 K4	26	21
MT18 K9	14	12
MT66 K7	20	16
MT68 K7	10	6
X2	34	32
X3	36	30

Tabel 7: Resultaten indringdiepte.

3.7 Vorstdooi onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd conform NPR-CEN/TS 12390-9: 2006 EN. Voor dit onderzoek zijn de cilinders ingepakt in rubber en zijn de randen afgekit met een vorstbestendige kit. De proefstukken zijn vervolgens met een laagje demiwater erop in de vorstdooi kast geplaatst. Wekelijks zijn de schilfers afkomstig van het proefstuk verzameld en gewogen. De resultaten van het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

monstercode	testoppervlak [m ²]	afschilvering			
		14 dagen [kg/m ²]	28 dagen [kg/m ²]	42 dagen [kg/m ²]	56 dagen [kg/m ²]
MT3 K2	0,0062	0,28	0,32	0,36	0,52
MT3 K3	0,0061	0,88	1,00	1,60	3,12
MT3 K6	0,0050	1,28	2,54	3,34	4,04
MT15 K4	0,0046	0,00	0,02	2,38	3,40
MT15 K5	0,0048	2,56	2,76	3,04	3,30
MT15 K8	0,0052	0,38	0,44	0,48	0,52
MT15 K9	0,0059	0,24	0,32	0,38	0,42
MT18 K5	0,0047	6,46	7,14	7,84	8,16
MT18 K6-2	0,0053	4,72	7,18	8,20	9,46
MT18 K7	0,0029	1,48	1,78	2,10	2,72
MT18 K10	0,0048	0,88	1,00	1,70	2,34
MT17 K3	0,0046	5,64	6,22	7,36	7,84
MT17 K7	0,0048	0,70	1,00	1,20	2,26
MT66 K4	0,0050	3,20	3,76	5,10	5,64
MT68 K2	0,0051	1,74	3,56	4,54	5,30
MT68 K5	0,0054	0,00	0,02	3,44	4,54
MT68 K7	0,0119	4,26	5,62	7,00	8,48
X4	0,0055	1,78	1,84	3,90	5,84
X9A	0,0035	0,08	0,12	0,16	0,16
X10A	0,0035	0,86	0,90	1,04	1,10
gemiddeld		1,86	2,38	3,26	3,96
maximum		6,46	7,18	8,20	9,46

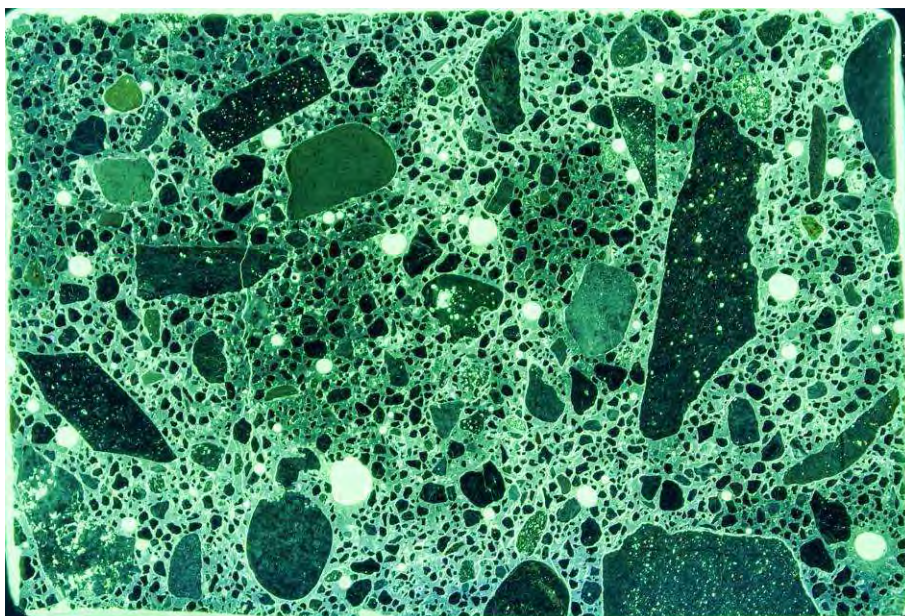
Tabel 8: Resultaten vorstdooionderzoek.

3.8 Petrografisch onderzoek

In het petrografisch onderzoek is gekeken naar de opbouw van het beton, dat wil zeggen naar het gebruikte fijne- en groffe toeslagmateriaal en de cementsoort. Daarnaast is aan de hand van de capillaire porositeit een inschatting gemaakt van de waterbindmiddelfactor. De waterbindmiddelfactor is bepaald middels referentiemateriaal vervaardigd van niet verouderde, niet geoxideerde hoogovenslak cement. Aangezien cement met hoogovenslak snel oxideert en verouderd kent de inschatting een significante onnauwkeurigheid. Daarnaast is gekeken naar typische kenmerken van schade door ASR.

3.8.1 Moot 3, kern 4

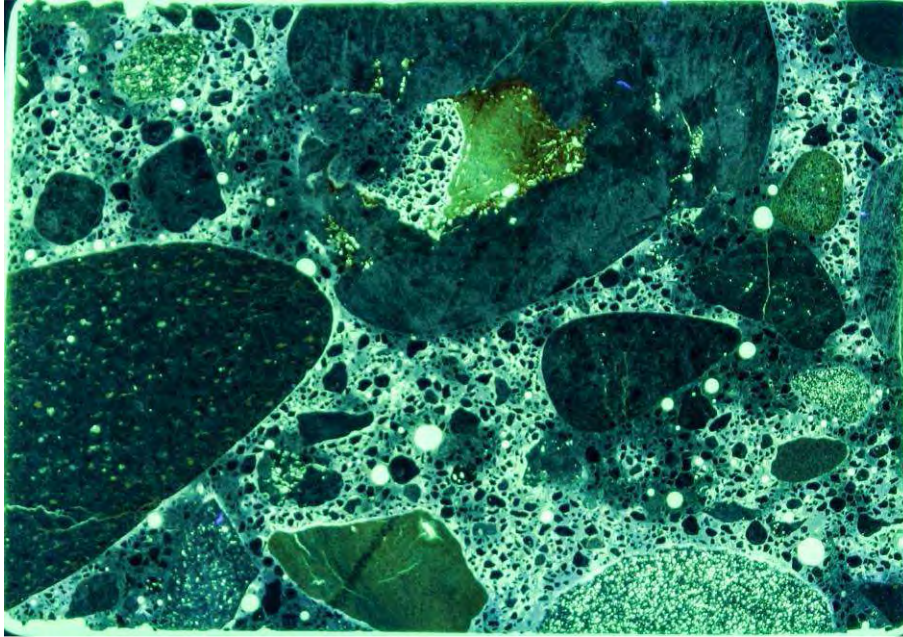
Het grof toeslagmateriaal bestaat hier uit flint en zandsteen / kwartsiet, terwijl het fijne toeslagmateriaal bestaat uit kwarts, veldspaat, flint en rokfragmenten (zandsteen / kwartsiet). Het slijpplaatje bevat 53% cementsteen dat bestaat uit hoogovenslakcement. De capillaire porositeit van de cementsteen varieert van zeer dicht met een waterbindmiddelfactor van 0,35 tot aan zeer poreus met een bijbehorende water bindmiddel factor van 0,65. De waterbindmiddelfactor wordt hier gemiddeld ingeschat op 0,50. De capillaire porositeit is hier inhomogeen, maar minder als in de overige slijpplaatjes. Er wordt veel scheurvorming gezien in de zogenaamde interfacial transition zone (gebied op de grens tussen korrel en cementsteen). In het slijpplaatje zijn geen sporen van ASR aangetroffen.



Figuur 11: Slijpplaatje Moot 3, Kern 4 onder UV licht.

3.8.2 Moot 15, K1

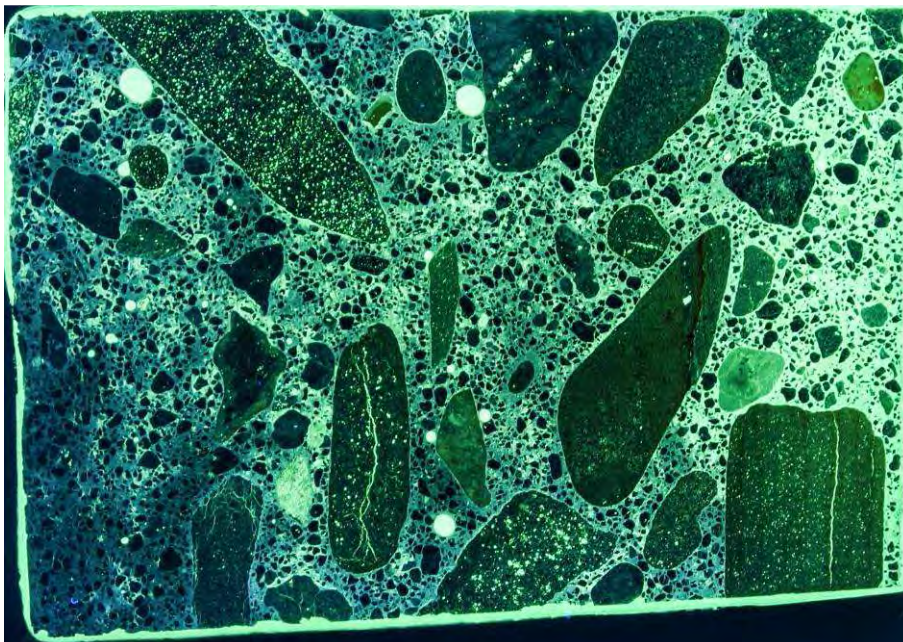
Het grof toeslagmateriaal bestaat hier uit flint en zandsteen / kwartsiet. Als fijn toeslagmateriaal is kwarts, veldspaat, flint en enkele rotsfragmenten (hoofdzakelijk zandsteen en kwartsiet teruggevonden). Ongeveer 56% van het slijpplaatje bestaat uit cementsteen, bestaande uit hoogovenslakcement. Het hoogovencement is gedeeltelijk geoxideerd. De capillaire porositeit van de cementsteen varieert van zeer dicht met een waterbindmiddelfactor van 0,35 tot zeer poreus met een waterbindmiddelfactor van 0,50 tot wel over de 0,70. De water bindmiddel factor wordt grof ingeschat op rond de 0,50. De capillaire porositeit is inhomogeen wat mogelijk veroorzaakt kan zijn door bleeding. In het slijpplaatje zijn geen sporen van ASR aangetroffen.



Figuur 12: Slijpplaatje Moot 15, Kern 1 onder UV licht.

3.8.3 Moot 15, kern 6

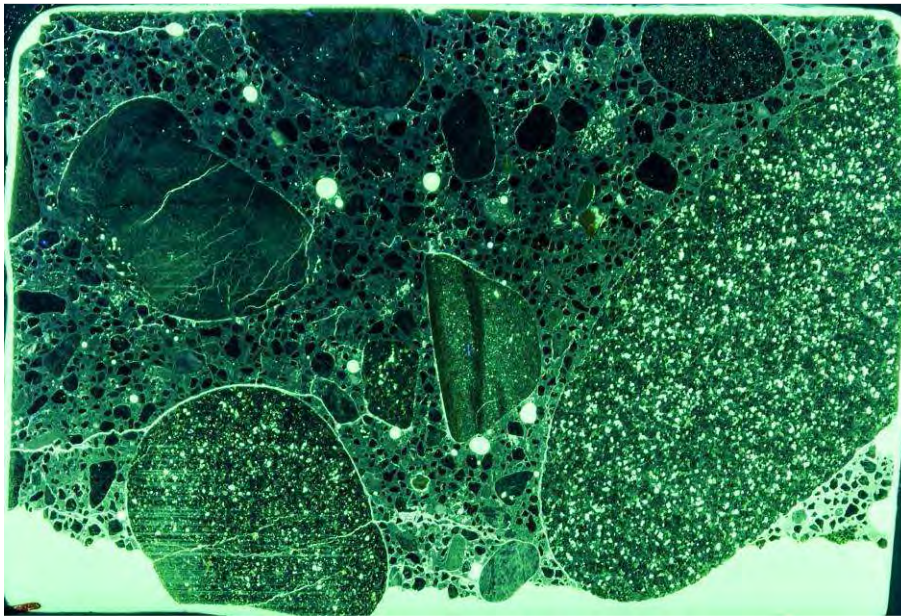
Het grof toeslagmateriaal bestaat hier uit zandsteen, terwijl het fijne toeslagmateriaal bestaat uit kwarts, veldspaat, flint en rotsfragmenten (zandsteen / kwartsiet). Het slijpplaatje bevat 49% cementsteen dat bestaat uit hoogovenslakcement. De capillaire porositeit van de cementsteen is zeer hoog in de gecarbonateerde zone nabij het oppervlak en neemt geleiding aan af tot aan een water bindmiddelfactor van $\pm 0,35$ nabij de onderzijde van het slijpplaatje. De waterbindmiddelfactor wordt hier gemiddeld ingeschat op 0,50. De capillaire porositeit is hier inhomogeen, wat kan duiden op bleeding. In het slijpplaatje zijn geen sporen van ASR aangetroffen.



Figuur 13: Slijpplaatje Moot 15, Kern 6 onder UV licht.

3.8.4 Moot 17, kern 7

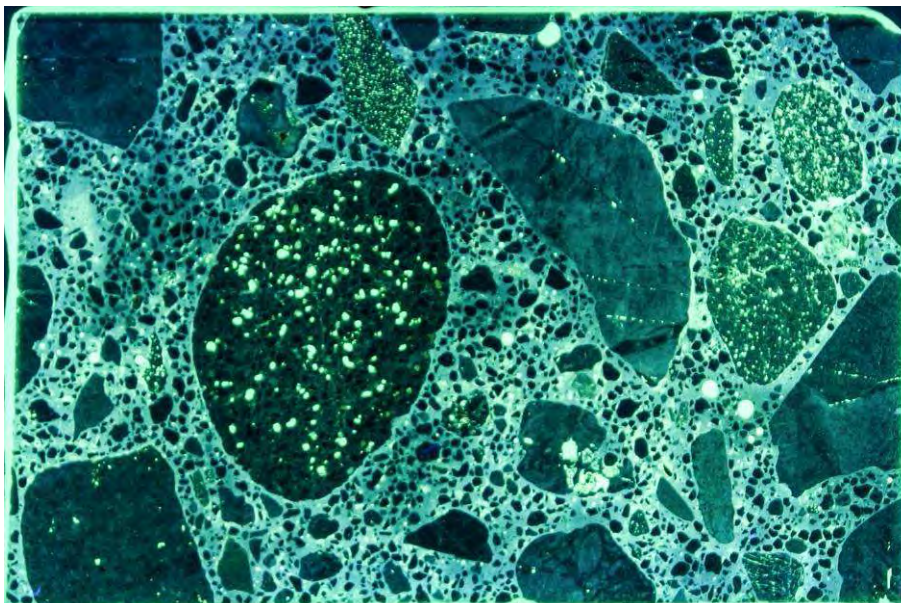
Het grof toeslagmateriaal bestaat hier uit zandsteen / kwartsiet, terwijl het fijne toeslagmateriaal bestaat uit kwarts, veldspaat, flint en rotsfragmenten (zandsteen / kwartsiet). Het slijpplaatje bevat 50% cementsteen dat bestaat uit hoogovenslakcement. Nabij het oppervlak is de cementsteen gecarbonateerd. De waterbindmiddelfactor wordt hier gemiddeld ingeschat op 0,35 (exclusief gecarbonateerde zone). De capillaire porositeit is relatief homogeen. In het slijpplaatje zijn geen sporen van ASR aangetroffen.



Figuur 14: Slijpplaatje Moot 17, Kern 7 onder UV licht.

3.8.5 Moot 18, kern 4

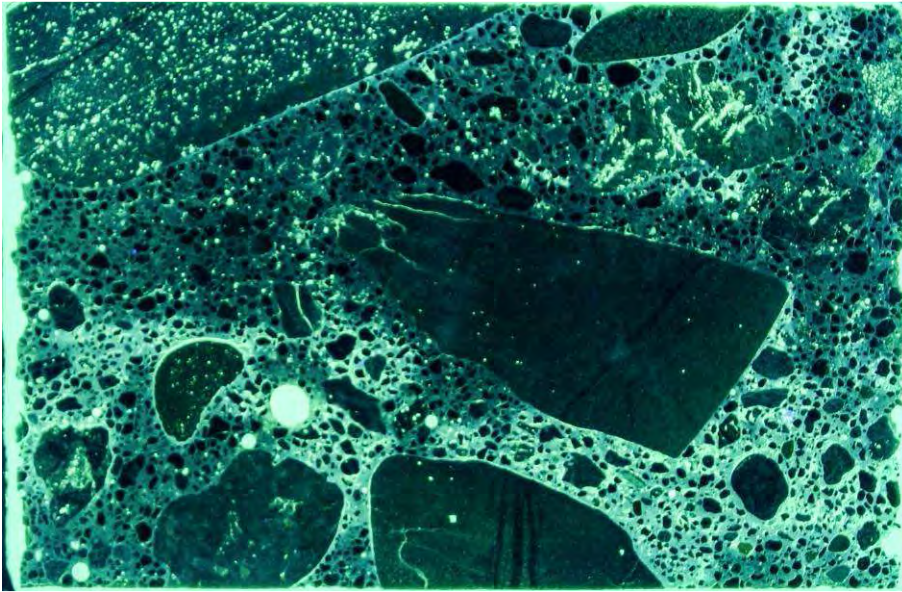
Het grof toeslagmateriaal bestaat hier uit flint, zandsteen / kwartsiet, terwijl het fijne toeslagmateriaal bestaat uit kwarts, veldspaat, flint en rotsfragmenten (zandsteen / kwartsiet). Het slijpplaatje bevat 46% cementsteen dat bestaat uit hoogovenslakcement. De capillaire porositeit van de cementsteen varieert van zeer dicht met een water bindmiddelfactor van 0,35 tot aan zeer poreus met een bijbehorende waterbindmiddelfactor van 0,70. De waterbindmiddelfactor wordt hier gemiddeld ingeschat op 0,50. De capillaire porositeit is hier inhomogeen, wat kan duiden op bleeding. In het slijpplaatje zijn geen sporen van ASR aangetroffen.



Figuur 15: Slijpplaatje Moot 18, Kern 4 onder UV licht.

3.8.6 Moot 68, kern 3

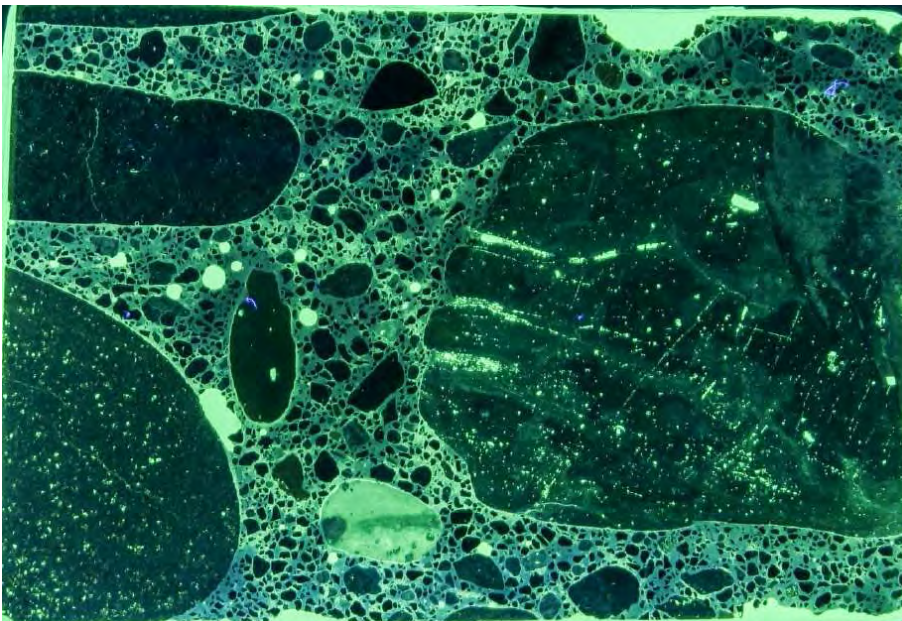
Het grof toeslagmateriaal bestaat hier uit zandsteen / kwartsiet, terwijl het fijne toeslagmateriaal bestaat uit kwarts, veldspaat, flint en rotsfragmenten (zandsteen / kwartsiet). Het slijpplaatje bevat 52% cementsteen dat bestaat uit hoogovenslakcement. De capillaire porositeit van de cementsteen varieert van zeer dicht met een water bindmiddelfactor van 0,35 tot aan zeer poreus met een bijbehorende waterbindmiddelfactor van 0,55 tot 0,65. De water bindmiddelfactor wordt hier gemiddeld ingeschat op 0,45. De capillaire porositeit is ook hier inhomogeen, wat gedeeltelijk veroorzaakt kan zijn door bleeding. In het slijpplaatje zijn geen sporen van ASR aangetroffen.



Figuur 16: Slijpplaatje Moot 68, Kern 3 onder UV licht.

3.8.7 Moot X, kern 9A

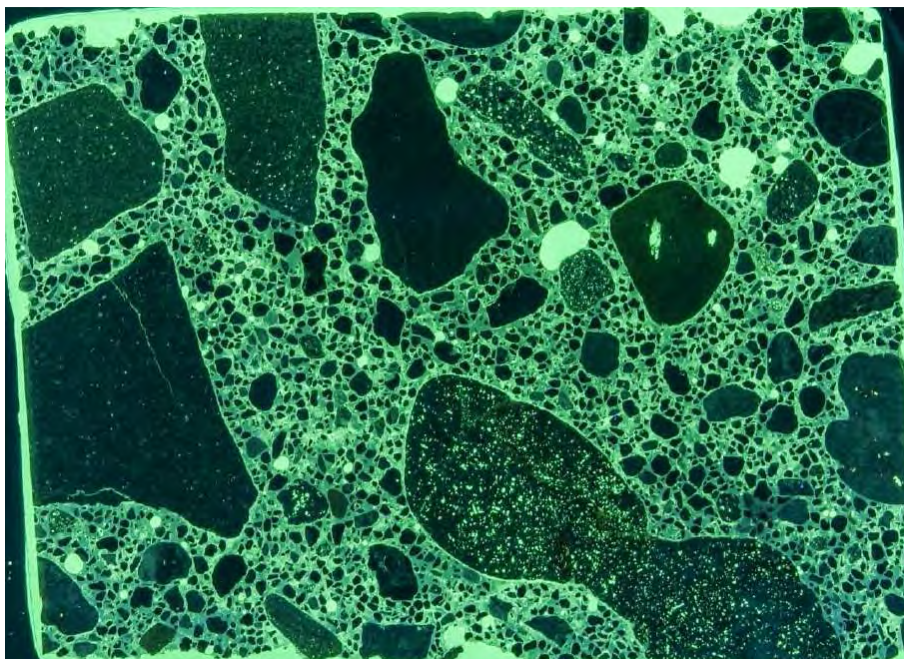
Het grof toeslagmateriaal bestaat hier uit zandsteen, kwartsiet en chert, terwijl het fijne toeslagmateriaal bestaat uit kwarts, veldspaat, chert, zandsteen en rotsfragmenten (zandsteen / kwartsiet). Het slijpplaatje bestaat uit hoogovenslakcement met vliegashoudend. De water bindmiddelfactor is lastig in te schatten vanwege de veelvoorkomende oxidatie in het proefstuk en wordt hier gemiddeld ingeschat op 0,40. In het slijpplaatje zijn geen sporen van ASR aangetroffen.



Figuur 17: Slijpplaatje Moot X, Kern 9A onder UV licht.

3.8.8 Moot X, kern 10A

Het grof toeslagmateriaal bestaat hier uit zandsteen, graniet, kwartsiet en chert, terwijl het fijne toeslagmateriaal bestaat uit kwarts, veldspaat, chert, zandsteen en rotsfragmenten. Het slijpplaatje bestaat uit hoogovenslakcement met vliegashoudend. De water bindmiddelfactor is lastig in te schatten vanwege de variatie in homogeniteit, maar wordt hier gemiddeld ingeschat op 0,40 in de niet geoxideerde gedeelten. In het slijpplaatje zijn geen sporen van ASR aangetroffen.



Figuur 18: Slijplaatje Moot X, Kern 10A onder UV licht.

3.9 Image analysis

Een beoordeling van het luchtgehalte is uitgevoerd volgens ASTM C457 gecombineerd met een zogenaamde image-analysis. Voor het onderzoek zijn de cilinders door midden gezaagd. Hierbij is een zo'n vlak mogelijk oppervlak gecreëerd. Vervolgens is de binnenzijde van de cilinder een foto met hoge resolutie gemaakt.

Met behulp van image analysis zijn de porieparameters middels de lineaire traverse methode bepaald. Bij de lineaire traverse methode wordt de weg die wordt afgelegd door toeslagmateriaal, lucht en cementpasta opgemeten langs een aantal lijnen. Voor dit onderzoek zijn vijf lijnen gebruikt. In de paragrafen met resultaten van de diverse cilinders is de indeling van de lijnen weergegeven.

De porieparameters kunnen vervolgens volgens het model van Powers worden berekend. In de onderstaande tabel zijn de formules weergegeven die hiervoor zijn gebruikt.

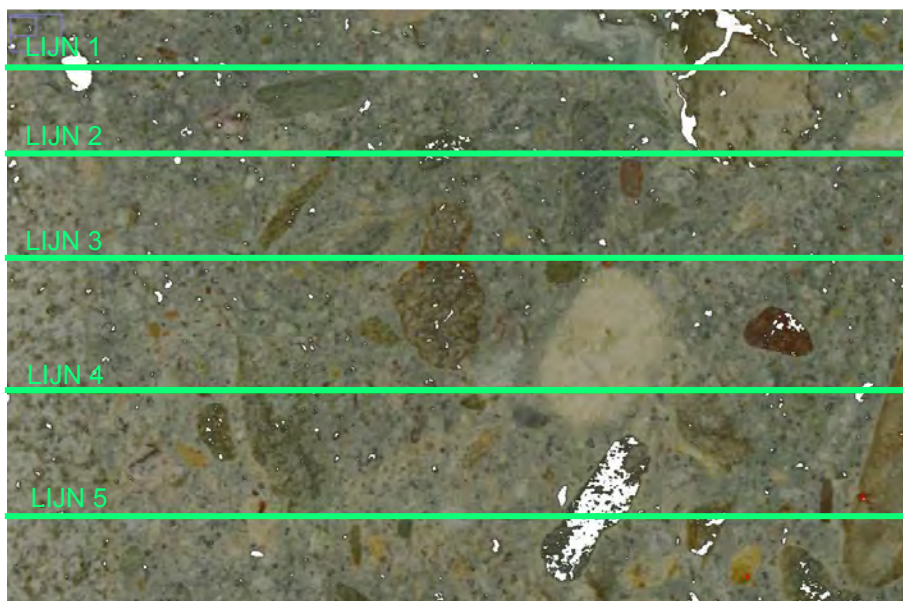
Parameter	Symbol	Formule
Luchtgehalte	A	$\frac{T_a \cdot 100}{T_t}$
Gemiddelde koordlengte	l_{mean}	$\frac{T_a}{N}$
Soortelijk oppervlak	α	$\frac{4}{l_{mean}}$
Cementgehalte	p	$\frac{T_p \cdot 100}{T_t}$
Cement/lucht ratio	$\frac{p}{A}$	$\frac{T_p}{T_a}$
Afstandsfactor volgens Powers	L_{mean}	Als $p/A \leq 4,342$ dan $L_{mean} = \frac{T_p}{4N}$ Als $p/A > 4,342$ dan $L_{mean} = \frac{3}{\alpha} \left(1,4 \left(1 + \frac{p}{A} \right) - 1 \right)$

Tabel 9: Overzicht porieparameters.

3.9.1 Moot 3, kern 4

De aanwezige poriën zijn veelal klein en goed verdeeld over de doorsnede. De analyse is gestart door de poriën door middel van een filter in het wit weer te geven. In de onderstaande figuur zijn daarbij ook het aantal toeslagkorrels meegenomen. Deze zijn in de analyse niet meegenomen.

Vervolgens zijn de parameters van de poriën bepaald aan de hand ASTM C457-90. Hiervoor is ingezoomd op een gebied van 63 x 45 mm. Dit meetgebied is gekozen omdat bij deze afmetingen de diverse bestanddelen (cementpasta, toeslagmateriaal en luchtbellen) goed te onderscheiden zijn. In de figuur zijn 5 lijnen gedefinieerd voor de lineaire traverse methode. Langs deze lijnen zijn de totale afstanden opgemeten die lucht, toeslagmateriaal en cementsteen doorkruizen. Het gebruikte grid is onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 19: Foto van zaagvlak met daarop het meetgrid in groen zichtbaar en de poriën in het wit weergegeven.

De resultaten uit het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

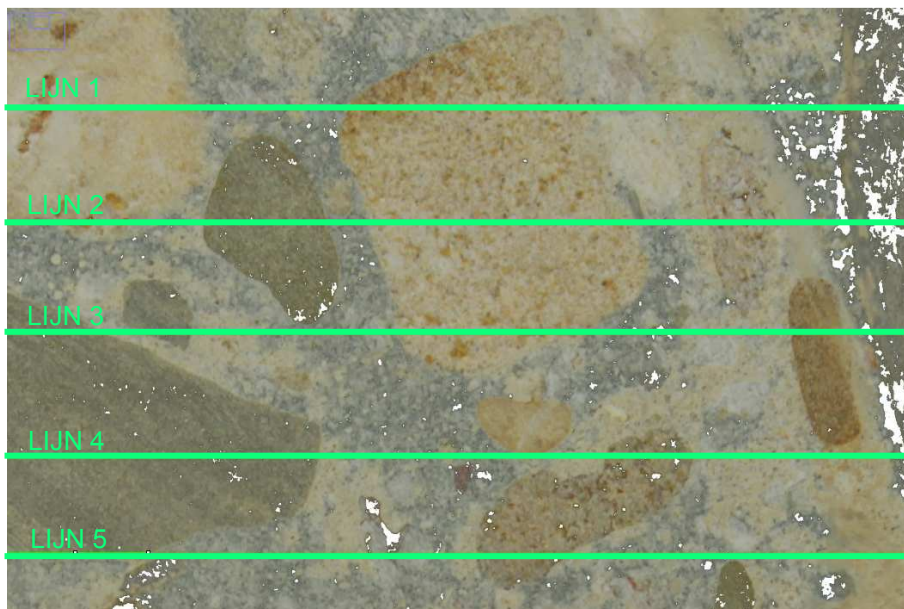
Parameter	Eenheid	Symbol	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3	Lijn 4	Lijn 5	Gemiddelden
Afstand door toeslag	[mm]	T_{aggr}	10,90	11,87	12,50	20,18	16,28	14,35
Afstand door lucht	[mm]	T_a	2,00	0,60	0,01	1,74	1,65	1,20
Afstand door cementpasta	[mm]	T_p	49,00	45,80	50,70	37,48	37,94	44,18
Afstand lucht + pasta	[mm]	T_t	51,00	46,40	50,71	39,22	39,59	45,38
Luchtgehalte	[%]	A	3,92	1,29	0,02	4,44	4,17	2,77
Gemiddelde koordlengte	[mm]	l_{mean}	2,00	0,60	0,01	0,58	0,83	0,80
Specifiek oppervlak	[mm ² /mm ³]	α	2,00	6,67	400,00	6,90	4,85	84,08
Gehalte cementpasta	[%]	p	96,08	98,71	99,98	95,56	95,83	97,23
Pasta/Lucht ratio	[-]	p/A	24,50	76,33	5.070,00	21,54	23,00	1.043,07
Powers afstandsfactor	[-]	L	4,68	2,23	0,17	1,29	1,88	2,05

Tabel 10: Resultaten image analysis

3.9.2 Moot 15, kern 1

De aanwezige poriën zijn veelal klein en goed verdeeld over de doorsnede. De analyse is gestart door de poriën door middel van een filter in het wit weer te geven. In de onderstaande figuur zijn daarbij ook een aantal toeslagkorrels meegenomen. Deze zijn in de analyse niet meegenomen.

Vervolgens zijn de parameters van de poriën bepaald aan de hand ASTM C457-90. Hiervoor is ingezoomd op een gebied van 36 x 55 mm. Dit meetgebied is gekozen omdat bij deze afmetingen de diverse bestanddelen (cementpasta, toeslagmateriaal en luchtbellen) goed te onderscheiden zijn. In de figuur zijn 5 lijnen gedefinieerd voor de lineaire traverse methode. Langs deze lijnen zijn de totale afstanden opgemeten die lucht, toeslagmateriaal en cementsteen doorkruizen. Het gebruikte grid is onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 20: Foto van zaagvlak met daarop het meetgrid in groen zichtbaar en de poriën in het wit weergegeven.

De resultaten uit het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

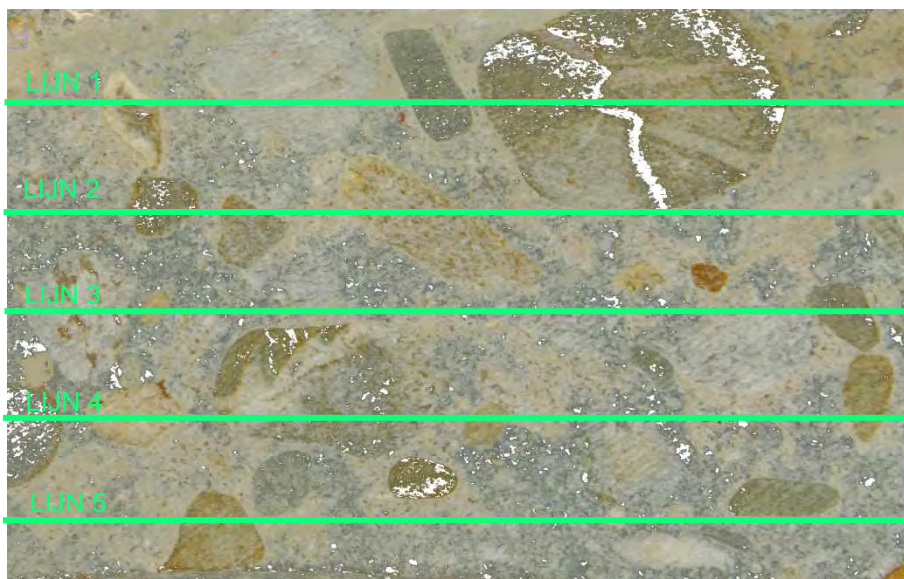
Parameter	Eenheid	Symbool	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3	Lijn 4	Lijn 5	Gemiddelden
Afstand door toeslag	[mm]	T_{aggr}	39,74	43,92	25,83	24,78	14,17	29,69
Afstand door lucht	[mm]	T_a	0,58	0,95	1,31	0,79	0,47	0,82
Afstand door cementpasta	[mm]	T_p	17,89	14,23	26,40	27,92	39,47	25,18
Afstand lucht + pasta	[mm]	T_t	18,48	15,18	27,72	28,71	1,18	18,25
Luchtgehalte	[%]	A	3,15	6,24	4,74	2,74	1,18	3,61
Gemiddelde koordlengte	[mm]	l_{mean}	0,58	0,95	0,66	0,39	0,47	0,61
Specifiek oppervlak	[mm ² /mm ³]	α	6,87	4,22	6,09	10,17	8,51	7,17
Gehalte cementpasta	[%]	p	96,85	93,76	95,26	97,26	98,82	96,39
Pasta/Lucht ratio	[-]	p/A	30,75	15,03	20,09	35,48	83,98	37,06
Powers afstandsfactor	[-]	L	1,50	1,80	1,41	1,08	1,82	1,52

Tabel 11: Resultaten image analysis

3.9.3 Moot 15, kern 5

De aanwezige poriën zijn veelal klein en goed verdeeld over de doorsnede. De analyse is gestart door de poriën door middel van een filter in het wit weer te geven. In de onderstaande figuur zijn daarbij ook een aantal toeslagkorrels meegenomen. Deze zijn in de analyse niet meegenomen.

Vervolgens zijn de parameters van de poriën bepaald aan de hand ASTM C457-90. Hiervoor is ingezoomd op een gebied van 37 x 64 mm. Dit meetgebied is gekozen omdat bij deze afmetingen de diverse bestanddelen (cementpasta, toeslagmateriaal en luchtbellen) goed te onderscheiden zijn. In de figuur zijn 5 lijnen gedefinieerd voor de lineaire traverse methode. Langs deze lijnen zijn de totale afstanden opgemeten die lucht, toeslagmateriaal en cementsteen doorkruizen. Het gebruikte grid is onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 21: Foto van zaagvlak met daarop het meetgrid in groen zichtbaar en de poriën in het wit weergegeven.

De resultaten uit het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

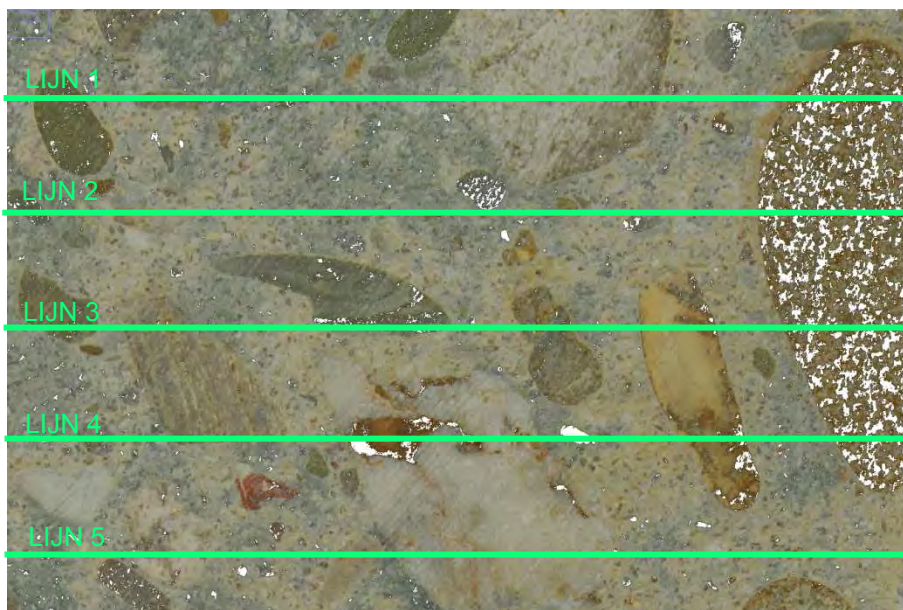
Parameter	Eenheid	Symbool	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3	Lijn 4	Lijn 5	gemiddelden
Afstand door toeslag	[mm]	T_{aggr}	34,22	21,07	12,62	29,87	7,57	21,07
Afstand door lucht	[mm]	T_a	0,01	0,43	1,44	0,86	0,78	0,70
Afstand door cementpasta	[mm]	T_p	28,66	41,86	42,17	32,01	54,70	39,88
Afstand lucht + pasta	[mm]	T_t	28,67	42,28	43,61	32,87	55,49	40,58
Luchtgehalte	[%]	A	0,03	1,01	3,30	2,60	1,41	1,67
Gemiddelde koordlengte	[mm]	l_{mean}	0,01	0,43	0,36	0,29	0,39	0,29
Specifiek oppervlak	[mm ² /mm ³]	α	400,00	9,35	11,10	14,02	10,24	88,94
Gehalte cementpasta	[%]	p	99,97	98,99	96,70	97,40	98,59	98,33
Pasta/Lucht ratio	[-]	p/A	2.865,60	97,79	29,26	37,39	70,04	620,02
Powers afstandsfactor	[mm]	L	0,14	1,76	0,91	0,80	1,41	1,00

Tabel 12: Resultaten image analysis

3.9.4 Moot 17, kern 3

De aanwezige poriën zijn veelal klein en goed verdeeld over de doorsnede. De analyse is gestart door de poriën door middel van een filter in het wit weer te geven. In de onderstaande figuur zijn daarbij ook een aantal toeslagkorrels meegenomen. Deze zijn in de analyse niet meegenomen.

Vervolgens zijn de parameters van de poriën bepaald aan de hand ASTM C457-90. Hiervoor is ingezoomd op een gebied van 36 x 54 mm. Dit meetgebied is gekozen omdat bij deze afmetingen de diverse bestanddelen (cementpasta, toeslagmateriaal en luchtbellens) goed te onderscheiden zijn. In de figuur zijn 5 lijnen gedefinieerd voor de lineaire traverse methode. Langs deze lijnen zijn de totale afstanden opgemeten die lucht, toeslagmateriaal en cementsteen doorkruizen. Het gebruikte grid is onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 22: Foto van zaagvlak met daarop het meetgrid in groen zichtbaar en de poriën in het wit weergegeven.

De resultaten uit het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

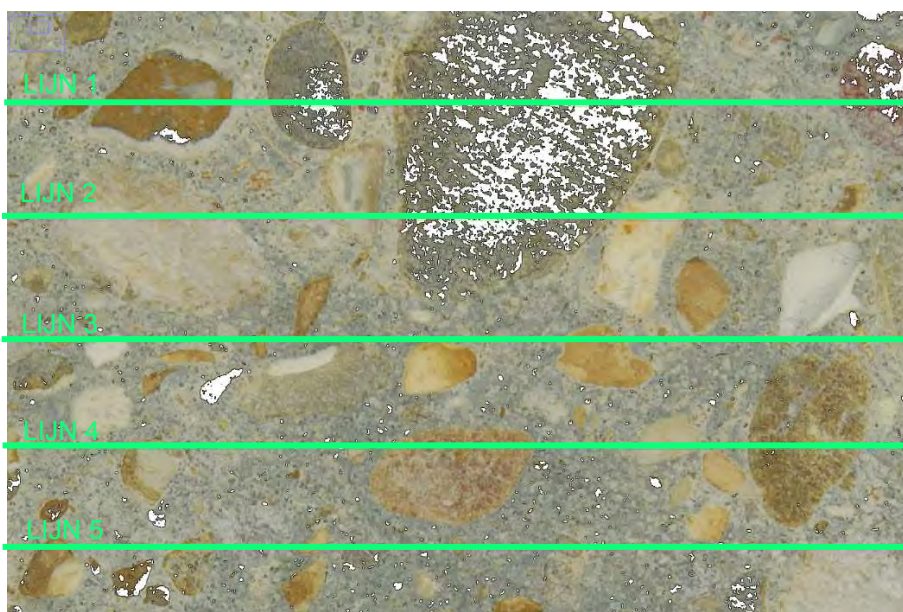
Parameter	Eenheid	Symbool	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3	Lijn 4	Lijn 5	gemiddelden
Afstand door toeslag	[mm]	T_{aggr}	24,18	14,25	29,82	26,48	20,95	23,14
Afstand door lucht	[mm]	T_a	0,74	0,52	0,58	1,95	0,45	0,85
Afstand door cementpasta	[mm]	T_p	25,78	35,48	16,43	22,31	29,94	25,99
Afstand lucht + pasta	[mm]	T_t	26,52	36,00	17,02	24,27	30,39	26,84
Luchtgehalte	[%]	A	2,79	1,45	3,43	8,05	1,47	3,44
Gemiddelde koordlengte	[mm]	l_{mean}	0,25	0,13	0,29	0,65	0,22	0,31
Specifiek oppervlak	[mm ² /mm ³]	α	16,22	30,65	13,70	6,14	17,94	16,93
Gehalte cementpasta	[%]	p	97,21	98,55	96,57	91,95	98,53	96,56
Pasta/Lucht ratio	[-]	p/A	34,84	67,97	28,14	11,42	67,14	41,90
Powers afstandsfactor	[mm]	L	0,67	0,46	0,72	1,09	0,79	0,75

Tabel 13: Resultaten image analysis

3.9.5 Moot 66, kern 7

De aanwezige poriën zijn veelal klein en goed verdeeld over de doorsnede. De analyse is gestart door de poriën door middel van een filter in het wit weer te geven. In de onderstaande figuur zijn daarbij ook een aantal toeslagkorrels meegenomen. Deze zijn in de analyse niet meegenomen.

Vervolgens zijn de parameters van de poriën bepaald aan de hand ASTM C457-90. Hiervoor is ingezoomd op een gebied van 38 x 58 mm. Dit meetgebied is gekozen omdat bij deze afmetingen de diverse bestanddelen (cementpasta, toeslagmateriaal en luchtbellens) goed te onderscheiden zijn. In de figuur zijn 5 lijnen gedefinieerd voor de lineaire traverse methode. Langs deze lijnen zijn de totale afstanden opgemeten die lucht, toeslagmateriaal en cementsteen doorkruisen. Het gebruikte grid is onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 23: Foto van zaagvlak met daarop het meetgrid in groen zichtbaar en de poriën in het wit weergegeven.

De resultaten uit het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

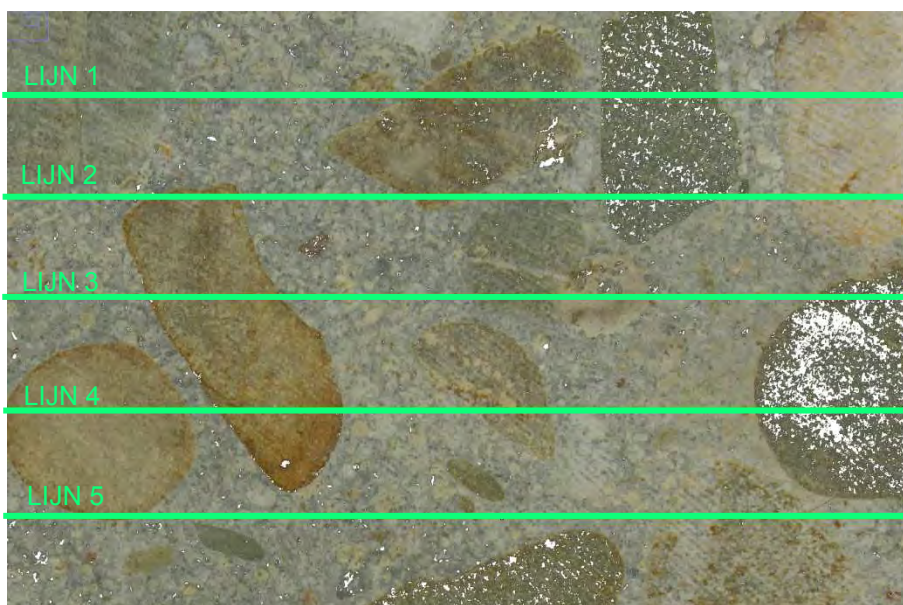
Parameter	Eenheid	Symbool	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3	Lijn 4	Lijn 5	gemiddelden
Afstand door toeslag	[mm]	T_{aggr}	46,75	32,42	11,82	26,05	22,08	27,82
Afstand door lucht	[mm]	T_a	0,01	0,01	0,33	0,89	0,73	0,39
Afstand door cementpasta	[mm]	T_p	20,49	20,66	39,19	29,72	39,42	29,89
Afstand lucht + pasta	[mm]	T_t	20,50	20,67	39,53	30,60	40,15	30,29
Luchtgehalte	[%]	A	0,05	0,05	0,85	2,90	1,82	1,13
Gemiddelde koordlengte	[mm]	l_{mean}	0,01	0,01	0,33	0,30	0,24	0,18
Specifiek oppervlak	[mm ² /mm ³]	α	400,00	400,00	11,98	13,53	16,44	168,39
Gehalte cementpasta	[%]	p	99,95	99,95	99,15	97,10	98,18	98,87
Pasta/Lucht ratio	[-]	p/A	2.048,70	2.065,60	117,34	33,50	54,00	863,83
Powers afstandsfactor	[mm]	L	0,13	0,13	1,47	0,79	0,79	0,66

Tabel 14: Resultaten image analysis

3.9.6 Moot 68, kern 6

De aanwezige poriën zijn veelal klein en goed verdeeld over de doorsnede. De analyse is gestart door de poriën door middel van een filter in het wit weer te geven. In de onderstaande figuur zijn daarbij ook een aantal toeslagkorrels meegenomen. Deze zijn in de analyse niet meegenomen.

Vervolgens zijn de parameters van de poriën bepaald aan de hand ASTM C457-90. Hiervoor is ingezoomd op een gebied van 37 x 55 mm. Dit meetgebied is gekozen omdat bij deze afmetingen de diverse bestanddelen (cementpasta, toeslagmateriaal en luchtbellens) goed te onderscheiden zijn. In de figuur zijn 5 lijnen gedefinieerd voor de lineaire traverse methode. Langs deze lijnen zijn de totale afstanden opgemeten die lucht, toeslagmateriaal en cementsteen doorkruisen. Het gebruikte grid is onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 24: Foto van zaagvlak met daarop het meetgrid in groen zichtbaar en de poriën in het wit weergegeven.

De resultaten uit het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Parameter	Eenheid	Symbool	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3	Lijn 4	Lijn 5	gemiddelden
Afstand door toeslag	[mm]	T_{aggr}	35,79	32,01	24,16	31,73	15,06	27,75
Afstand door lucht	[mm]	T_a	0,01	0,28	0,48	0,01	0,01	0,16
Afstand door cementpasta	[mm]	T_p	18,17	23,22	29,84	21,60	50,41	28,65
Afstand lucht + pasta	[mm]	T_t	18,18	23,50	30,32	21,61	50,42	28,81
Luchtgehalte	[%]	A	0,05	1,17	1,60	0,05	0,02	0,58
Gemiddelde koordlengte	[mm]	l_{mean}	0,01	0,14	0,16	0,01	0,01	0,07
Specifiek oppervlak	[mm ² /mm ³]	α	400,00	28,99	24,79	400,00	400,00	250,76
Gehalte cementpasta	[%]	p	99,95	98,83	98,40	99,95	99,98	99,42
Pasta/Lucht ratio	[-]	p/A	1.817,40	84,14	61,65	2.160,00	5.041,10	1.832,86
Powers afstandsfactor	[mm]	L	0,12	0,53	0,55	0,13	0,17	0,30

Tabel 15: Resultaten image analysis

4

Samenvatting resultaten


In onderstaande opsomming zijn de gevonden resultaten in het onderzoek puntsgewijs weergegeven:

- Tijdens de visuele inspectie van de monsters zijn verschillende gradaties van verdichting te zien. Moot 3, moot X - serie 1 & serie 4 laten een matige tot slechte verdichting zien. Moot 15 en moot 68 een matige verdichting. Moot 17 en moot X-serie 3 een goede verdichting en moot 18, moot 66 en moot X-serie 2 een matig tot goede verdichting;
- In al de cilinders is een rond, kwartachtig en gaaf toeslagmateriaal met een D_{max} van 16 mm aangetroffen;
- De aangetroffen carbonatatie diepten variëren van een gemiddelde 0 mm t/m 27,5 mm. Er zijn gegevens bekend van de betondekking, daarmee kan niks gezegd worden over het risico op carbonatatie geïnitieerde wapeningscorrosie;
- Het aangetroffen chloridengehalte is nergens meer dan 0,1% m/m cement. Dat betekent dat er geen risico is voor chloriden geïnitieerde wapeningscorrosie;
- Uit het druksterkteonderzoek volgt dat het beton is in te delen in betondruksterkteklasse C55/67 conform NEN-EN 206;
- De porositeit is bepaald aan de hand geforceerde wateropname en varieert van 12,4 tot 14,1%;
- De indringdiepte (permeabiliteit) varieert gemiddeld van 6 tot aan 32 mm. Hierbij moet worden opgemerkt dat de X-serie een grotere indringing kent als de rest van de monsters;

- Tijdens het vorstdoel onderzoek is vastgesteld dat er na 56 dagen een gemiddelde afschilfering is opgetreden van $\pm 3,96 \text{ kg/m}^2$;
- Uit het petrografisch onderzoek volgt dat het in alle gevallen een beton met hoogovenslak betreft. Doordat cement met hoogovenslak snel oxideert en verouderd kent de inschatting van de water bindmiddelfactor een significante onnauwkeurigheid. In de slijpplaatje worden water bindmiddelfactoren gevonden variërend van 0,35 tot aan 0,50. Het grof toeslagmateriaal bestaat hoofdzakelijk uit flint en zandsteen/kwartsiet, terwijl het fijne toeslagmateriaal bestaat uit kwarts, veldspaat, flint en rotsfragmenten (zandsteen / kwartsiet). In geen van de slijpplaatjes zijn sporen van ASR aangetroffen. Er is sprake van een cementgehalte van 46% tot aan 56% hoogovenslakcement. In veel gevallen is de capillaire porositeit inhomogeen wat kan duiden op bleeding.
- Op een aantal cilinders is een image analysis uitgevoerd. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit onderzoek is bedoeld voor beton met luchtbelvormer, wat hier niet van toepassing is. De aanwezige poriën zijn veelal klein en goed verdeeld over de doorsnede. De resultaten van het onderzoek zijn daarom twijfelachtig. Het aangetroffen luchtgehalte varieert gemiddeld van 0,58 tot aan 3,61%. Het soortelijk oppervlak varieert van 7,17 tot aan 250,76 mm^2/mm^3 en de afstandsfactor van 0,30 tot 2,05.



ir. S. Leurs
Consultant



ir. J.W.M. Bovend'Eerd
Manager schade-expertise & inspecties

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 3 Kern 1



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
50	12				
62	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 195 mm
diameter: 143 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 3 Kern 2



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
36	12				
43	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 192 mm
diameter: 140 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 3 Kern 3



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
86	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 187 mm
diameter: 140 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 3 Kern 4



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
59	22				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 184 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 3 Kern 5



Afmetingen:

hoogte: 179 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
82	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 3 Kern 6



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
55	12				
68	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 193 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 17 Kern 3



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
52	10				
61	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 167 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 17 Kern 4



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
66	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 191 mm
diameter: 143 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 17 Kern 7



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
72	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 84 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 17 Kern 8



Afmetingen:

hoogte: 160 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
68	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 18 Kern 1



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
48	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 177 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 18 Kern 3



Afmetingen:

hoogte: 160 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
72	16				
89	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 18 Kern 4



Afmetingen:

hoogte: 162 mm
diameter: 143 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
65	12				
77	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 18 Kern 5

Afmetingen:

hoogte: 187 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
luchtbellen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
segregatie
 niet matig veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
diameter: mm
corrosie:
 licht matig veel



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
55	12				
63	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 18 Kern 6-1



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
49	16				
66	16				
86	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 130 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 18 Kern 6-2



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 114 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellens:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 18 Kern 7



Afmetingen:

hoogte: 151 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
60	12				
79	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 18 Kern 8



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
61	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 158 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 18 Kern 9



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
52	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 187 mm
diameter: 143 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
 Onderdeel: visuele inspectie cilinders
 monstercode: Moot 18 Kern 10

Afmetingen:

hoogte: 198 mm
 diameter: 90 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 66 Kern 3



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
45	16				
61	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 150 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: 16 mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 66 Kern 4



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
67	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 175 mm
diameter: 90 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 66 Kern 7



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
74	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 130 mm
diameter: 143 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 68 Kern 2



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
56	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 205 mm
diameter: 90 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellens:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 68 Kern 3



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
56	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 178 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
 Onderdeel: visuele inspectie cilinders
 monstercode: Moot 68 Kern 4



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
47	16				
64	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 100 mm
 diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
 Onderdeel: visuele inspectie cilinders
 monstercode: Moot 68 Kern 5



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
66	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 190 mm
 diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
 Onderdeel: visuele inspectie cilinders
 monstercode: Moot 68 Kern 6



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
38	16				
67	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 170 mm
 diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 68 Kern 7



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
58	16				
76	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 190 mm
diameter: 143 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 68 Kern 10



Afmetingen:

hoogte: 218 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
48	16				
65	16	geribt			

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 15 Kern 1



Afmetingen:

hoogte: 179 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
45	16				
63	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot EK 15 Kern 3



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
50	16				
71	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 150 mm
diameter: 92 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot EK 15 Kern 4



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
105	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 170 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 D_{max}:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot EK 15 Kern 5



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
68	18				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 175 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot EK 15 Kern 6



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
43	15				
67	15				
84	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 105 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot EK 15 Kern 7



Afmetingen:

hoogte: 175 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot 15 Kern 8



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 180 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: Moot EK 15 Kern 9



Afmetingen:

hoogte: 188 mm
diameter: 140 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X1



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
42	16				
61	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 150 mm
diameter: 96 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 D_{max}:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
 Onderdeel: visuele inspectie cilinders
 monstercode: X2



Afmetingen:

hoogte: 165 mm
 diameter: 155 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

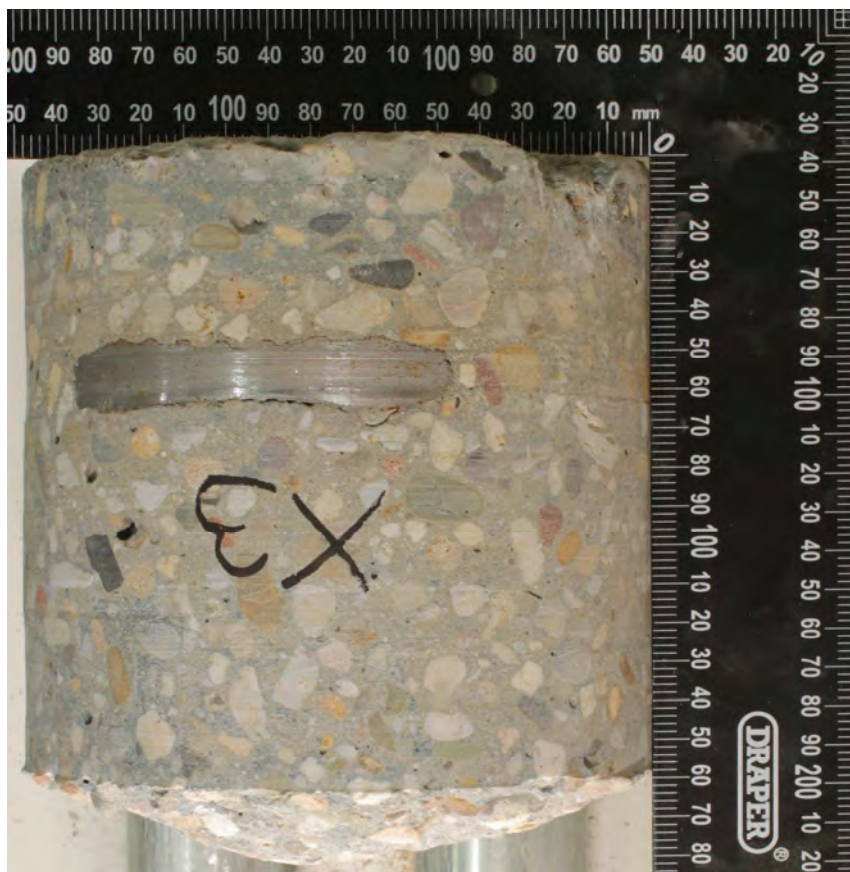
Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
62	16				
79	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X3



Afmetingen:

hoogte: 175 mm
diameter: 155 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
50	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X4



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
58	16				
75	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 173 mm
diameter: 96 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellens:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: 0,3 mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X5



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 176 mm
diameter: 96 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X6



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
105	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 122 mm
diameter: 96 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toeslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X7



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
90	15				
130	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 220 mm
diameter: 96 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellens:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

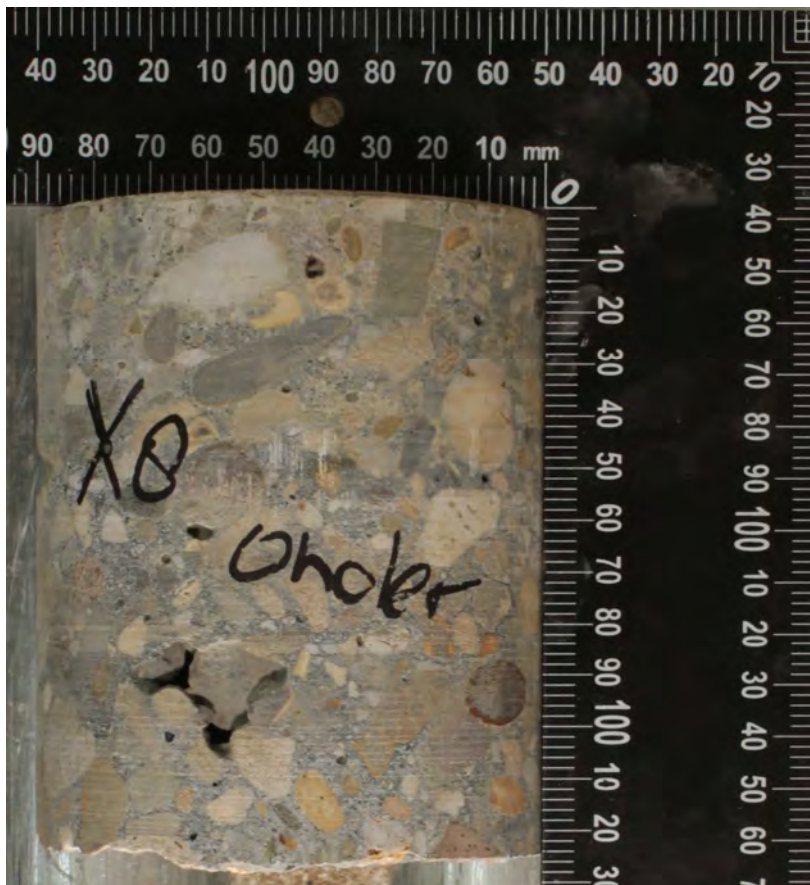
Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X8 onder



Afmetingen:

hoogte: 125 mm
diameter: 96 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtbellens:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

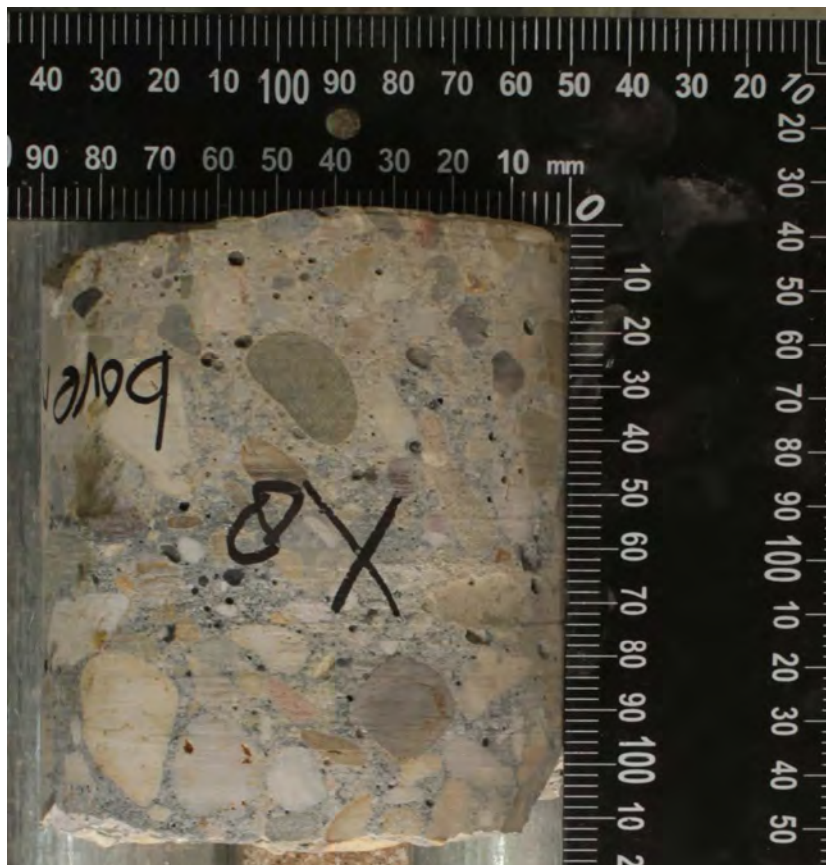
Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
90	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
 Onderdeel: visuele inspectie cilinders
 monstercode: X8 boven



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
82	16				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 115 mm
 diameter: 96 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X9A



Afmetingen:

hoogte: 170 mm
diameter: 145 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
45	12				
55	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X9B



Afmetingen:

hoogte: 165 mm
diameter: 96 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 D_{max}:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
45	12				
56	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoortunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X10A



Afmetingen:

hoogte: 180 mm
diameter: 145 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 Dmax:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
45	8				
50	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek Sophia Spoor tunnel
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: X10B



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
40	10				
53	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 163 mm
diameter: 96 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
 goed matig slecht
 luchtballen:
 klein middel groot
 weinig matig veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
 ja nee
 scheuren:
 ja nee
 plastisch door toetslag craquele
 scheurwijdte: mm
 hoogte: mm
 lengte: mm
 aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
 goed matig slecht

Toetslagmateriaal:

vorm:
 rond gebroken veel plat
 uiterlijk:
 kwartsachtig amorf gescheurd
 gaaf poreus aangetast
 D_{max}:
 8 mm 16 mm 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
 ja nee
 segregatie
 niet matig veel
 vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

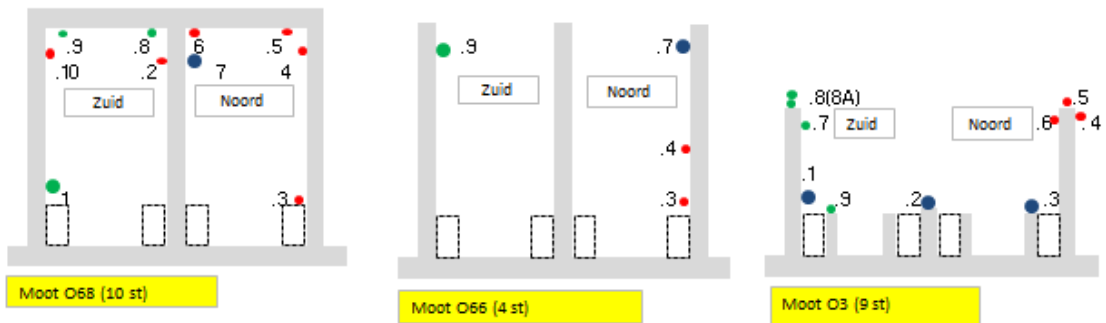
flint hout schelpen
 pyriet anders, nl.:

Wapening:

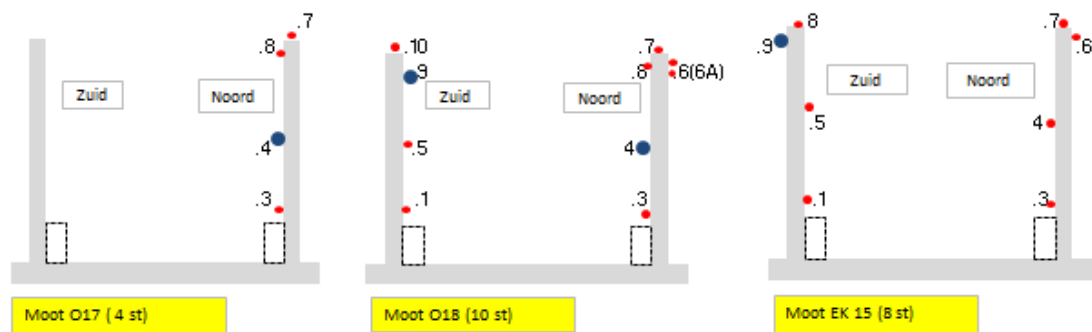
ja nee
 diameter: mm
 corrosie:
 licht matig veel

BIJLAGE III OVERZICHT LOCATIES KERNBORINGEN

Overzicht Boormonsters 'Sophia Spoortunnel' AS BUILT



- Ø150 mm; lengte boorkern 130 mm (boordiepte ca 150 mm) ==> geboord + onderzoek
- Ø100 mm; lengte boorkern 130 mm (boordiepte ca 150 mm) ==> geboord + onderzoek
- Ø100/Ø150 mm; lengte boorkern 130 mm (boordiepte ca 150 mm) ==> Reserve



Boorformulier

Locatie kernboringen 'Sophia Spoortunnel' Onderdeel bijlage III

AS BUILT situatie d.d. 11 april 2016

Indien het boorgat is gevuld met mortel dan is hiervoor het volgende product toegepast: "**Grautech, Speedcem 8 mm**" (opgave Dikkerboom)

De kilometering van de boorlocaties is vooraansnog niet opgenomen. Er bestaat een verschil van 20 meter tussen aanwezig hectometer bordje (7,9) en de in het bezit zijnde as-built tekeningen, voorzien van km punten

Opm 1

Tijdens de BD 9/10 april 2016 zijn: de kerngaten 5, 6, 8 en 9 in het dak van moot O68 gecoat en afgedekt met rvs platen/ankers. Tevens is het nog niet gevulde boorgat in de Noordwand moot O3 alsnog met krimparme mortel gevuld.

Het boorgat kern 7 in moot O17 bleek al gevuld te zijn en is niet gevuld tijdens de BD.

Moot O3					horizontaal			vertikaal	
onderdeel	locatie	kern	∅	hersteld	ref 1	afst. ref (m)	km	ref 2	afst. ref 2 (m)
Zuidwand	voorzijde	1	150	ja	moot O2	9,5		looppad	0,25
Zuidwand	bovenkant	8	100	ja	moot O2	7,0		n.v.t.	n.v.t.
Zuidwand	bovenkant	8A	100	ja	moot O2	7,5		n.v.t.	n.v.t.
Noordwand	achterzijde	4	100	ja	moot O2	4,2		b.k. wand	0,1
Noordwand	achterzijde	?	100	ja ^{opm1}	moot O2	5,2		n.v.t.	n.v.t.
Noordwand	bovenkant	5	100	ja	moot O2	4,6		n.v.t.	n.v.t.
Noordwand	voorzijde	6	100	ja	moot O2	7,5		b.k. wand	0,5
KG-wand Noord	bovenkant	3	150	ja	moot O2	6,3		n.v.t.	n.v.t.
KG-wand Zuid	bovenkant	9	100	ja	moot O2	7,0		n.v.t.	n.v.t.
OG-wand Midden	bovenkant	2	150	ja	moot O2	6,0		n.v.t.	n.v.t.

Moot O17					horizontaal			vertikaal	
onderdeel	locatie	kern	∅	hersteld	ref 1	afst. tot ref	km	ref 2	afst. tot ref 2
Zuidwand	voorzijde	3	100	ja	moot O18	5,2		b.k. wand	2,9
Zuidwand	voorzijde	4	150	ja	moot O18	4,7		b.k. wand	1,5
Zuidwand	bovenkant	7	100	ja ^{opm1}	moot O18	3,4		n.v.t.	n.v.t.
Zuidwand	voorzijde	8	100	ja	moot O18	4,7		b.k. wand	0,5

Moot O18					horizontaal			vertikaal	
onderdeel	locatie	kern	∅	hersteld	ref 1	afst. tot ref	km	ref 2	afst. tot ref 2
Zuidwand	voorzijde	1	100	ja	moot O17	2,3		looppad	0,8
Zuidwand	voorzijde	5	100	ja	moot O17	4,4		looppad	1,7
Zuidwand	voorzijde	9	150	ja	moot O17	5,2		b.k. wand	0,3
Zuidwand	bovenkant	10	100	ja	moot O17	4,5		n.v.t.	n.v.t.
Noordwand	voorzijde	3	100	ja	moot O19	10,7	6,9 (bordje)	looppad	0,6
Noordwand	voorzijde	4	150	ja	moot O19	10,7		looppad	2,2
Noordwand	achterzijde	6	100	ja	moot O19	12,0		b.k. wand	0,3
Noordwand	achterzijde	6A	100	ja	moot O19	11,5		b.k. wand	0,3
Noordwand	bovenkant	7	100	ja	moot O19	10,0		n.v.t.	n.v.t.
Noordwand	voorzijde	8	100	ja	moot O19	9,8		b.k. wand	0,6

Moot O66					horizontaal			vertikaal	
onderdeel	locatie	kern	∅	hersteld	ref 1	afst. tot ref	km	ref 2	afst. tot ref 2
Zuidwand	voorzijde	9	100	ja	moot O67	8,2		b.k. wand	1,4
Noordwand	voorzijde	3	100	ja	moot O67	7,5		looppad	0,7
Noordwand	voorzijde	4	100	ja	moot O67	7,5		looppad	3,5
Noordwand	voorzijde	7	150	ja	moot O67	7,5		b.k. wand	1,5

Moot O68					horizontaal			vertikaal	
onderdeel	locatie	kern	Ø	hersteld	ref 1	afst. tot ref	km	ref 2	afst. tot ref 2
Zuidwand	voorzijde	1	150	ja	moot O67	4,6		looppad	2,7
Zuidwand	voorzijde	10	100	ja	moot O67	16,4		b.k. wand	1,2
Noordwand	voorzijde	3	100	ja	moot O67	1,3		looppad	0,8
Noordwand	voorzijde	4	100	ja	moot O67	1,5		b.k. wand	1,5
Middenwand	voorz-Zuid	2	100	ja	moot O67	16,4		b.k. wand	2,4
Middenwand	voorz-Noord	7	150	ja	moot O67	1,5		b.k. wand	1,5
Dak	Zuid	8	100	ja ^{opm1}	moot O67	4,5		Zuidwand	5,0
Dak	Zuid	9	100	ja ^{opm1}	moot O67	4,8		Zuidwand	1,4
Dak	Noord	5	100	ja ^{opm1}	moot O67	1,5		Noordwand	1,0
Dak	Noord	6	100	ja ^{opm1}	moot O67	1,0		Noordwand	5,3

Moot EK15 (Kijfhoek)					horizontaal			vertikaal	
onderdeel	locatie	kern	Ø	hersteld	ref 1	afst. tot ref	km	ref 2	afst. tot ref 2
Zuidwand	voorzijde	1	100	ja	moot EK14	3		looppad	0,3
Zuidwand	voorzijde	5	100	ja	moot EK14	3		b.k. wand	0,6
Zuidwand	bovenkant	8	100	ja	moot EK14	3		n.v.t.	n.v.t.
Zuidwand	achterzijde	9	150	ja	moot EK14	3		b.k. wand	0,5
Noordwand	voorzijde	3	100	ja	moot EK14	3		looppad	0,1
Noordwand	voorzijde	4	100	ja	moot EK14	3		looppad	2,6
Noordwand	achterzijde	6	100	ja	moot EK14	3		b.k. wand	0,2
Noordwand	bovenkant	7	100	ja	moot EK14	3		n.v.t.	n.v.t.

BIJLAGE IV NOTITIE AANVULLEND BETONONDERZOEK 'BUITEN HET SPOOR'

onderwerp notitie aanvullend betononderzoek 'buiten het spoor'
project Betuweroute - Sophia Spoortunnel
opdrachtgever ProRail
projectcode RIS671-1
referentie RIS671-1/esss2/012
opgemaakt door ir. A.J. Strijker/K. Schipper
status definitief 1.0
datum opmaak 8 februari 2016
bijlagen -

aan ProRail Jan Bogaards
kopie -

Inleiding

In opdracht van ProRail is onderzoek gedaan naar de betonkwaliteit van de toeritten van de Sophia Spoortunnel, onderdeel van de Betuweroute. Op verzoek van ProRail zijn tevens enkele betonconstructie's 'buiten het spoor' onderzocht. In de notitie worden de resultaten van het betononderzoek 'buiten het spoor' behandeld.

Het betreft de volgende onderdelen:

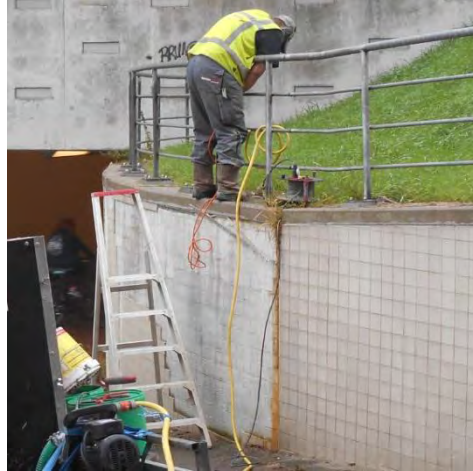
- A. de grondkerende wanden nabij Station Barendrecht (boormonsters X1 tot en met X3);
- B. de buitenwanden van Station Barendrecht (X4, X5, X8A en X8B);
- C. een wand ter plaatse van het wandelgebied op het dak van Station Barendrecht (X6 en X7);
- D. de betonnen deksloof ter plaatse van de grondsculptuur bij het schachtgebouw West (X9A en X9B) en schachtgebouw Oost (X10A en X10B).

Redenen van onderzoek gericht op de specifieke locaties

- Ad A: De betreffende grondkerende wanden zijn voorzien van tegels. Een deel van het tegelwerk komt los van het beton. Er zal worden nagegaan in hoeverre het beton verantwoordelijk is voor het loslaten van het tegelwerk;
- Ad B: om een globale indruk te verkrijgen van de kwaliteit van het beton van de overkapping Station Barendrecht zijn op enkele willekeurige locaties monsters genomen;
- Ad C: het uiterlijk van de betonwanden ter plaatse van de wandelpromenade vertoont ernstige craquelé vorming, hier is onderzoek naar gedaan;
- Ad D: de betonnen deksloof, onderdeel van de grondsculptuur bij toegangschacht gebouw 'Oost', vertoont zeer veel mosgroei terwijl de identieke deksloof bij toeganggebouw 'West' geen/nauwelijks mosgroei vertoont. Het is bekend dat er per sculptuur sprake is geweest van een ander uitvoeringsregiem en een andere betonleverancier. Er zal worden getracht dit opmerkelijke verschil in mosgroei te verklaren.

Detail foto's van de onderzochte locaties

Situatie A: Betonnen keerwanden, loslatend tegelwerk



Situatie B: Buitenwanden Overkapping Barendrecht



Situatie C: Craquelé vorming op wanden dak overkapping Barendrecht



Situatie D: Verschillen in mosgroei bij gelijksoortige grondsculptuur



Per situatie zullen de onderzoeksresultaten worden behandeld, de conclusies worden getrokken en indien van toepassing een aanbeveling worden gedaan.

Situatie A

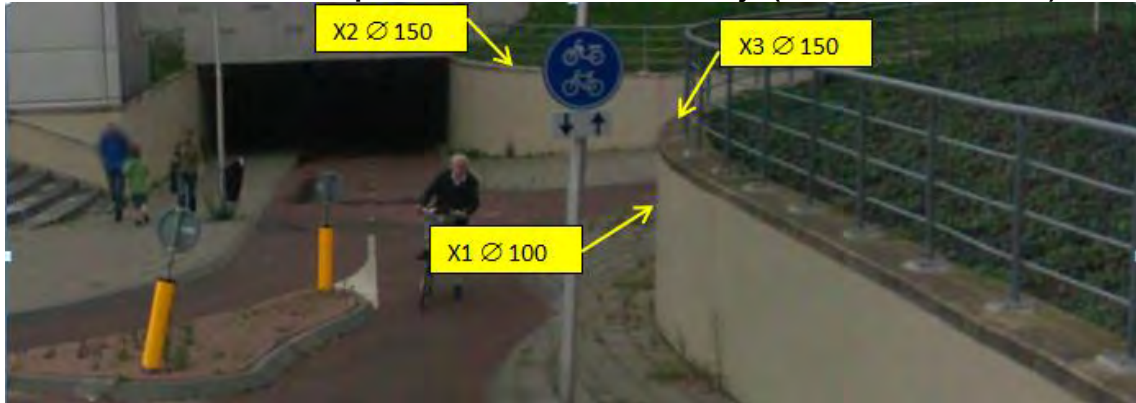
Het tegelwerk van de grondkerende wanden is voor een groot deel los gekomen en/of dreigt los te komen.

Er zal worden nagegaan of het loskomen van de tegels het gevolg is van het feit dat de kwaliteit van het beton onvoldoende is.

Op een 3-tal locaties, per plaatse van het losgelaten tegelwerk, zijn monsters genomen:

- monster X1 aan de voorzijde van de wand (kernboring \varnothing 100 mm);
- monster X2 aan de bovenzijde en in het midden van de wand (\varnothing 150 mm);
- monster X3 aan de bovenzijde en in het midden van de wand (\varnothing 150 mm).

Overzicht keerwanden ter plaatse van Gebroken Meeldijk (Station Barendrecht)



⇒ Visuele beoordeling:

De 3 boorkernen vertonen onderling een verschillend beeld. Er is sprake van matig tot goed verdicht beton met een normale hoeveelheid luchtbellens met normaal te verwachten afmetingen (X2) tot slecht verdicht beton met veel en relatief grote luchtbellens (X1).

⇒ Druksterkte/Carbonatatie indringing:

Ondanks het feit dat deze onderzoeksresultaten geen directe invloed hebben op het loskomen van het tegelwerk, is hier toch onderzoek naar gedaan om na te gaan of het beton past in het stramien van 'normaal' geleverd beton voor het Betuweroute Project.

De gemeten druksterkte van 65 N/mm² en een gemiddelde carbonatatie indringing van 6 mm kan worden bestempeld als 'normaal'.

⇒ Porositeit.

De porositeit (geforceerde wateropname) van het onderzochte monster (X1) bedraagt 14,1%. (er is slechts 1 monster onderzocht). Dit is weliswaar iets hoger dan de gemiddeld gemeten porositeit van 7 onderzochte monsters van de toeritten Sophia Spoortunnel maar daarmee zeker niet afwijkend. Er is slechts 1 monster onderzocht maar gelet op het niet afwijkende resultaat lijkt vervolgonderzoek niet benodigd.

⇒ Permeabiliteit

De permeabiliteit is bij de 2 onderzochte monsters (X2 en X3) hoger dan de gemiddeld gemeten permeabiliteit van de 8 onderzochte monsters van de toeritten van de Sophia Spoortunnel. De gemiddeld gemeten waterindringing van het onderzochte beton van de Sophia Spoortunnel bedraagt 15 mm, in het geval van de onderzochte keerwanden is dit 31 mm.

Ondanks het feit dat een waterindringing van circa 30 mm mag worden beschouwd als een redelijk hoge waarde zal dit zeker niet als oorzaak mogen worden gezien voor het loslaten van het tegelwerk, de betonwanden zullen zeker geen water doorlaten.

Conclusie:

Het beton van de keerwanden vertoont geen gebreken die als oorzaak kunnen worden gezien voor het loslaten van het tegelwerk.

Het doorslaan van water mag, gelet op de onderzoeksresultaten, worden uitgesloten als oorzaak. Hierbij moet tevens worden vermeld dat loslatende tegels ook zijn gesignaleerd bij een in de directe nabijheid gelegen technische ruimte, waar geen sprake is van een grondwater belasting. Zie onderstaande afbeelding 1.1.

Afbeelding 1.1. Loslatende tegelwerk technische ruimte



Gelet op het feit er duidelijk sprake lijkt te zijn van delaminatie tussen tegels en tegellijm en niet tussen beton(huid) en tegellijm, zie afbeelding 1.2, kan ook de aanwezigheid van achtergebleven curing-compound en/of bekistingolie worden uitgesloten als oorzaak.

Afbeelding 1.2. Delaminatie tussen tegelwerk en lijmlaag



Situatie B

Op 2 willekeurige buitenwanden van het station/overkapping Barendrecht zijn per wand 2 kernen (h.o.h. 0,5 m) geboord en onderzocht.

Twee kernen (X4 en X5) zijn geboord in een beschutte Oostelijke wand en 2 kernen (X8-boven en X8-onder) zijn geboord in een onbeschermt deel van een Westelijke wand.

⇒ Visuele beoordeling.

Alle 4 de kernen vertonen globaal eenzelfde beeld waarbij opgemerkt dat kern X5 er erg goed uitziet (goede verdichting, geen luchtinsluitingen en dergelijke) Kern, X8-onder, vertoont als gevolg van slechte verdichting van het mengsel wel lokaal een aanzienlijke luchtinsluiting.

Afbeelding 1.3. Luchtinsluitingen kern X8-onder



⇒ Druksterkte

Van de 4 kernen is van alleen kern X5 de druksterkte bepaald, deze bedraagt 70 N/mm². Er wordt vanuit gegaan (gelet op alle goede resultaten van de drukproeven HSL/TRN en BR/Sophia Spoor tunnel) dat de gevraagde druksterkte ook voor het overige beton goed zal zijn.

⇒ Carbonatatie indringing.

De gemeten carbonatatie indringing verschilt per wand aanzienlijk;

In de onbeschutte Westwand bedraagt de gemiddeld gemeten carbonatatie indringing van beide kernen circa 6 mm met gevonden maxima tot 11 mm. Met deze gevonden waarden zal het carbonatatie front de wapening, binnen de ontwerp levensduur, niet bereiken.

In de beschutte Oostwand wordt echter voor beide boormonsters een gemiddelde carbonatatie indringing van 27,5 en 17 mm gemeten met maxima van 37,5 en 23 mm. De gemeten indringing betreft geen lokale indringing maar een indringingsfront. Er moet hierbij wel worden opgemerkt dat er slechts 2 monsters zijn beproefd in de (beschutte) Oostwand. Een dusdanig hoge waarde moet echter wel als een verontrustend signaal worden beschouwd en vraagt de aandacht c.q. vervolgonderzoek.

⇒ Vorst-dooi bestandheid.

Van de 4 monsters is 1 monster op vorst-dooi bestandheid onderzocht (X4). Met een gemeten afschilvering van $5,84 \text{ kg/m}^2$ na 56 vorst-dooi cycli valt dit monster binnen het gemiddelde van alle onderzochte monsters van de toeritten Sophia Spoortunnel.

Notabene:

- *indien is vereist dat een beton moet worden vervaardigd dat goed bestand is tegen (strenge) vorst/dooi wisselingen, eventueel in combinatie met dooizouten, is de bovenbeschreven proef een goed hulpmiddel. Er kan immers vooraf worden overeengekomen hoeveel massaverlies er na 28 of 56 vorst/dooicycli mag optreden;*
- *het is echter complex om op basis van deze genormaliseerde vorst/dooi proef na te gaan met welke snelheid 'in de praktijk' het beton zal afschilveren/desintegreren. Immers de proef gaat uit van zeer strenge blootstellingsomstandigheden (in enkele uren tijd van $+20^{\circ}\text{C}$ naar -20°C), omstandigheden die in Nederland niet voorkomen. Een 'vertaling' van het massaverlies dat wél als gevolg van in de praktijk voorkomende vorst/dooi wisselingen zal optreden, kan alleen maar worden geschat;*
- *bij de vorst/dooi proef wordt het monster verzadigd met water. Het is een gegeven dat een beperkte verzadigingsgraad van het beton ($< 80\%$) de kans op vorstschade verkleint. In het geval van onderzijde daken en verticale wandoppervlakken zal er zelden sprake zijn van een water-verzadigingsgraad $> 80\%$, daarmee is de kans op daadwerkelijke vorst/dooischade gering. Horizontale bovenzijden in de buitenlucht lopen wel kans om met water verzadigd te raken waardoor de kans op vorst-dooi schade groter wordt.*

Conclusie

Hoewel het uiterlijk van het betonoppervlak dit niet verraadde blijkt er bij de willekeurig gekozen Oostelijke buitengevel sprake te zijn van een zeer snel voortschrijdende carbonatatie indringing in het beton.

Aanbeveling

Het verdient aanbeveling om een uitgebreider onderzoek te doen naar met name de carbonatatie indringing. De kernen die hiervoor moeten worden geboord behoeven slechts een kleine diameter ($\varnothing 50 \text{ mm}$) te hebben en een beperkte boordiepte. (circa 50 mm)

Situatie C

Op 2 willekeurige locaties (X6 en X7) van de wanden op het dak van de overkapping Barendrecht (wandelpromenade/park) is een monster genomen om te achterhalen wat de reden is van de craquelé vorming.

⇒ Visuele beoordeling:

Uit de geboorde kernen blijkt heel duidelijk dat de wand aan de parkzijde is voorzien van een monolithisch verbonden 50 mm dikke voorzetwand afgewerkt met een dunne pleisterlaag. Op foto 1 is duidelijk de overgang te zien het constructie beton naar het beton met een grindkorrel nominaal 4 mm (schatting) en de pleisterlaag.

De circa 2 mm dikke pleisterlaag is hoogstwaarschijnlijk na aanbrengen niet voldoende nabehandeld waardoor het scheurpatroon (craquelé) is ontstaan. Het betreft hier een esthetische kwestie, de kwaliteit van het beton van de wand is goed.

Abbeelding 1.4. boorkern van een wand ter plaatse van het park op dak overkapping Barendrecht



⇒ De carbonatatie indringing van het constructie beton is vastgesteld op 0 mm. Dit is geen verwonderlijk resultaat omdat het constructie beton is afgesloten van de lucht (en daarmee CO₂) door de ervoor gestorte voorzetwand en pleisterlaag.

Conclusie

Het zichtbare scheurpatroon van de wand (craquelé) bevindt zich in de dunne pleisterlaag. Het betreft hier een esthetisch probleem zonder enig kwaliteits-raakvlak met het constructieve beton.

Situatie D

Aan weerszijden van het geboorde deel van de tunnel is een schachtgebouw (dienstgebouw) geplaatst. Aan de achterzijde van beide schachtgebouwen bevindt zich een grondsculptuur waarbij de grond-begrenzing wordt gerealiseerd door een stalen damwand met aan de bovenzijde een betonnen deksloof.

De bovenzijde van de deksloof bevat ter plaatse van het schachtgebouw Oost (Papendrecht zijde) erg veel mosgroei terwijl er ter plaatse van het schachtgebouw West (Hendrik Ido Ambacht zijde) er van geen enkele mosgroei sprake is.

Van zowel de bovenzijde van de deksloof in Hendrik Ido Ambacht (X9A en X9B) als de bovenzijde van de deksloof in Papendrecht (X10A en X10B) zijn 2 monsters genomen.

⇒ Waarnemingen/onderzoeken:

In de tabel 1.1 zijn de visuele waarnemingen én de onderzoeksresultaten van de beide situaties met elkaar vergeleken.

In de vergelijkingstabel zijn de verschillen tussen de 2 situaties met kleuren (groen = goed, rood = minder goed en grijs = gelijkwaardig) gevisualiseerd.

Uit het petrografisch onderzoek blijkt dat beide mengsels zijn opgebouwd uit de zelfde grove en fijne toeslagmaterialen. Tevens is er sprake van dezelfde toegepaste cementsoort en waterbindmiddel factor. Opvallend is wel dat in beide monsters vliegias is aangetroffen terwijl dat bij al het overig onderzochte beton van de Sophia spoortunnel (toeritten Oost en West) dit niet het geval is.

Opvallend is dat er bij beide onderzochte monsters van de betonnen deksloof in Hendrik Ido Ambacht in het geheel geen carbonatatie heeft plaatsgevonden. Dat betekent dat het beton nog sterk alkalisch is en daarmee een ongewilde bodem voor mossen. Het is (nog) onverklaarbaar waarom hier in het geheel geen carbonatatie heeft plaatsgevonden. Daarbij wordt tevens waargenomen (weliswaar op basis van 1 monster) dat de druksterkte van het niet gecarbonateerde beton extreem hoog is, 91 N/mm² ten opzichte van een normale/verwachte waarde van de met mos begroeide deksloof van 61 N/mm² (kern 10B)

Tabel 1.1. Verschillen tussen deksloof 'West' (kernen 9) en 'Oost' (kernen 10)

Waarneming / onderzoek	Kern 9A	Kern 9B	Kern 10A	Kern 10B
Omgeving	stad/weiland		bos/weiland	
visueel ==> Mos	geen	geen	veel	veel
visueel ==> Verdichting	slecht	slecht	slecht	matig/slecht
visueel ==> luchtbel afmetingen	middel	middel	middel	middel
visueel ==> lucht hoeveelheid	veel	veel	veel	matig/veel
visueel ==> bleeding	geen	geen	geen	geen
visueel ==> segregatie	niet	niet	niet	niet
Carbonatatie indringing [mm]	0	0	3,5	4,5
Druksterkte [N/mm ²]	-	91	-	61
Vorst-dooi 56 cycli [kg/m ²]	0,16	-	1,1	-
Petrografisch ==> aandeel cementsteen	?	-	?	-
Petrografisch ==> Geschatte wbf	0,4	-	0,4	-
Petrografisch ==> Cementsoort	Cem III	-	Cem III	-
Petrografisch ==> hulpstoffen/vliegias?	vliegias	-	vliegias	-

Tijdens het bepalen van de carbonatatie indringing worden in het laboratorium verse breukvlakken besproeid met een kleurindicatievloeistof (fenolftaleïne). Het carbonatatiefront tekent zich hierbij af als een scheiding tussen paars (pH > 10) en kleurloos (pH < 10) waarbij een paarse kleur duidt op gezond alkalisch beton (nog niet gecarbonateerd.)

In het laboratorium worden foto's gemaakt van de besproeide monsters tijdens het bepalen van de carbonatatie indringing. Zoals op afbeelding 1 en 2 is te zien, is er in het geval van de monsters 9A en 9B geen sprake van enige carbonatatie.

Afbeelding 1.5. Monster 9A, bepaling carbonatatie indringing



Afbeelding 1.6. Monster 9B, bepaling carbonatatie indringing



⇒ Geografische ligging.

- Op onderstaande plattegronden 1 en 2 is van beide schachtgebouwen inclusief de grondsculptuur de geografische ligging te zien:
 - beide betonconstructies zijn gelegen in een groene omgeving, waarbij moet worden opgemerkt dat er in de directe nabijheid van het schachtgebouw Papendrecht, in het Noord-Westen zich het 'Alblasser Bos' bevindt;
 - de mosgroei bevindt zich op alle bovenvlakken van de betonnen deksloof in Papendrecht en nergens in HI Ambacht; De invloed van de positie (windrichting) van het schachtgebouw ten opzichte van de deksloof kan daarmee worden uigesloten.
- Op plattegrond 3 zijn de locaties aangegeven waar boringen zijn verricht in de nabijheid van de overkapping Station Barendrecht:
 - detail A : Boringen in grond kerende wanden in verband met loslatend tegelwerk;
 - detail B : Boringen in buitenwand overkapping Station Barendrecht;

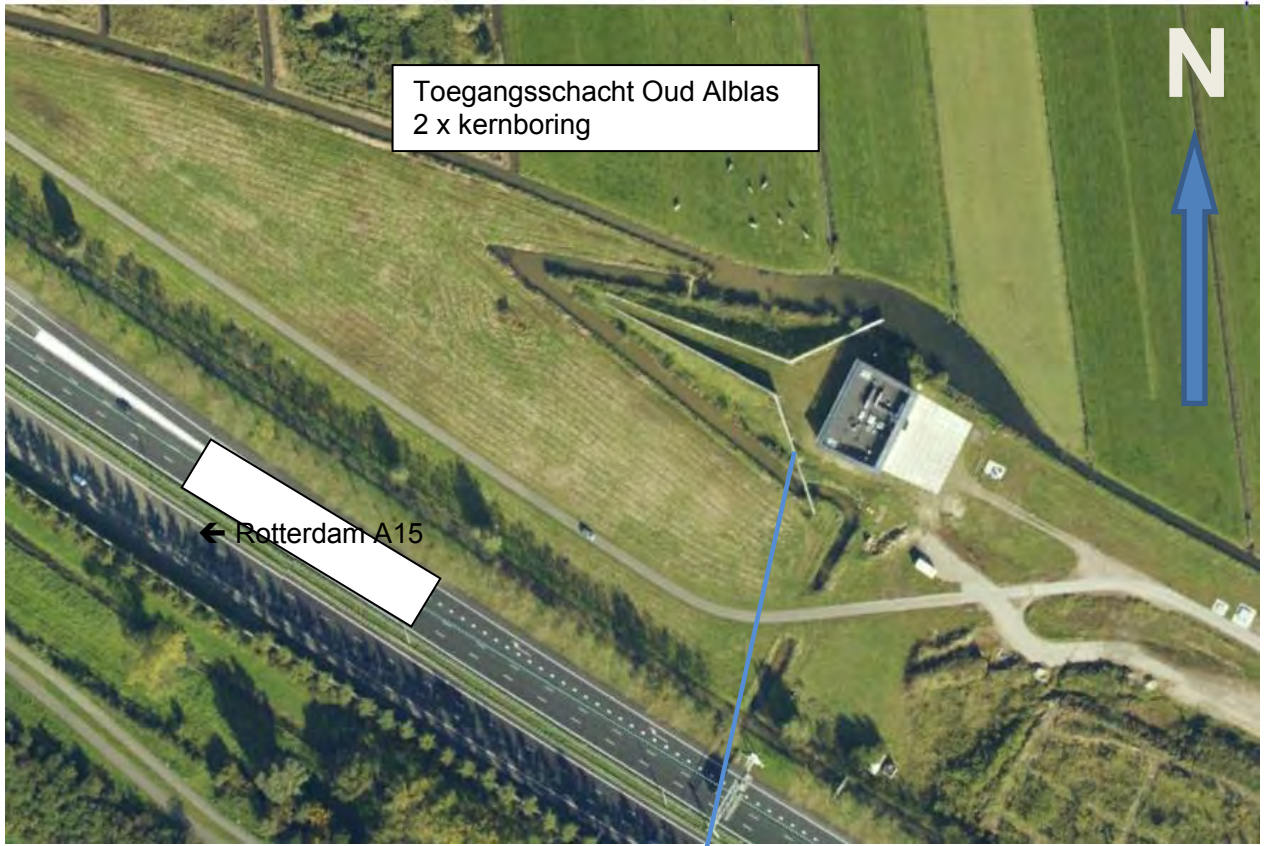
- detail C: Boringen in betonwand wandelpromenade in verband met craquelé vorming.

Boringen in buitenwand overkapping Station Barendrecht.

Plattegrond 1



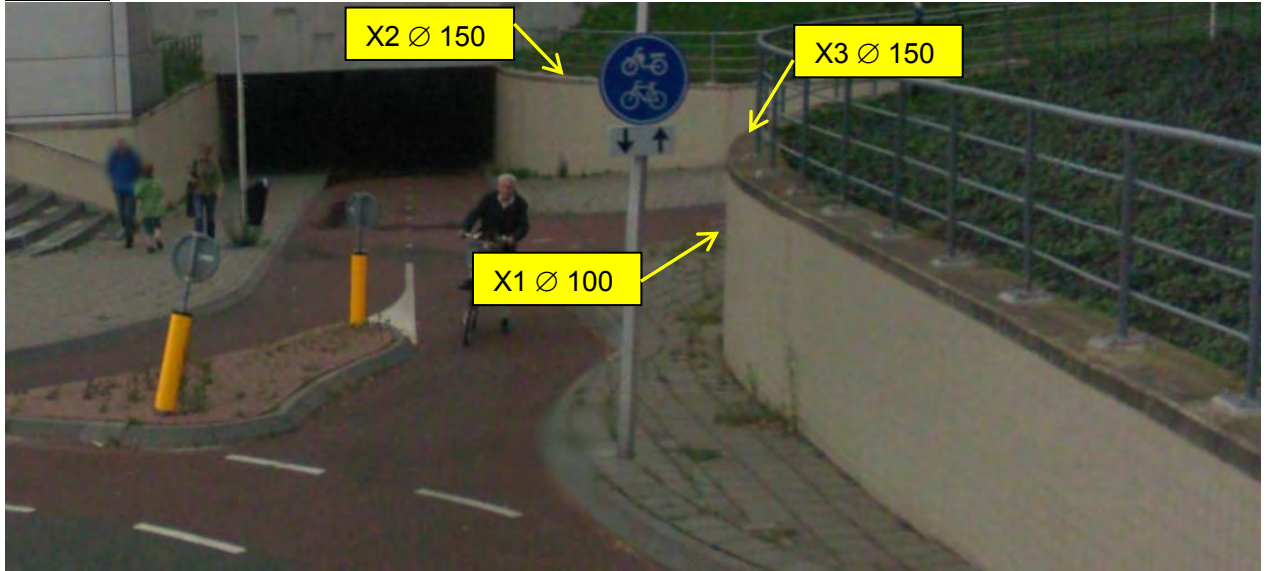
Plattegrond 2



Plattegrond 3



Detail A



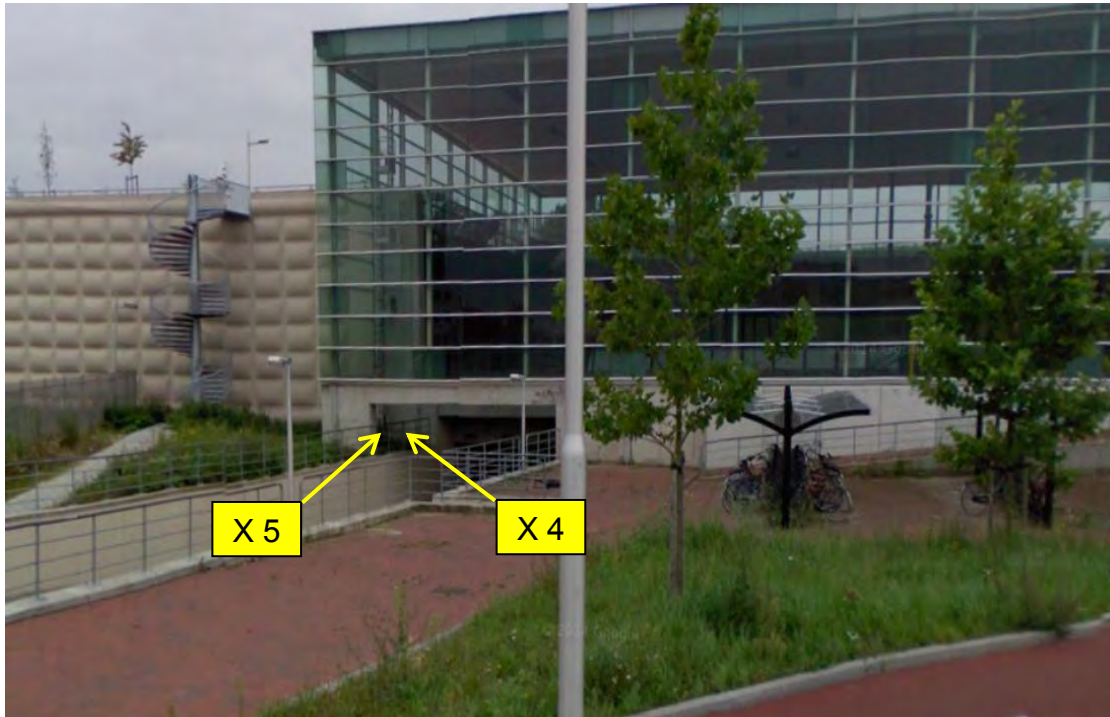
Detail A



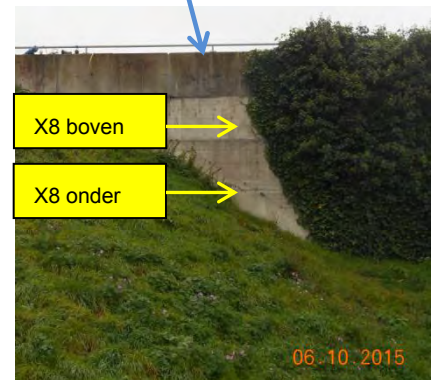
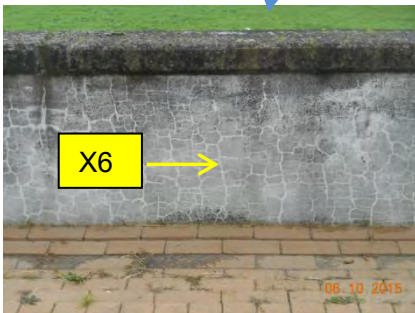
Detail A



Detail B



Detail C



Conclusie

Het feit dat er nog geen meetbare carbonatatie heeft plaatsgevonden bij de betonnen deksloof in Hendrik Ido Ambacht is hoogstwaarschijnlijk de reden waarom mosgroei hier uitblijft. Niet gecarbonateerd beton heeft nog een hoge alkalische waarde en is daarmee een ongewilde vestigingsbodem voor de meeste mos soorten.

Het feit dat er bij circa 15 jaar oud beton, dat is blootgesteld aan de buitenlucht, nog in het geheel geen meetbare carbonatatie heeft plaatsgevonden is zéér opmerkelijk.

Gelet op de tevens waargenomen zéér hoge betondruksterkte (weliswaar op basis van 1 meting) is mogelijk een afwijkend betonmengsel toegepast (B55 of zelfs B65) voor dit relatief kleine stort. Dit mengsel, in combinatie met een zeer goede nabehandeling en gunstige weersomstandigheden gedurende de eerste dagen/weken na het stort, kan de reden zijn voor het feit er nog (nagenoeg) geen carbonatatie heeft plaatsgevonden.

BIJLAGE V TEST REPORT PELCON MATERIALS & TESTING 12 APRIL 2016

Test report

Royal Haskoning DHV
George Hintzenweg 85
3068 AX Rotterdam
Netherland
Att.: Tom van Arkel

April 12th 2016

Investigation	Petrographic analysis of hardened concrete
Methods:	TI-B 5 (modified)
Materials:	7 drilled concrete cores (Ø: 100 mm and 150 mm) (received February 2 nd 2016)
Sample no.:	The 7 concrete cores are numbered M66-K9, M58-K1, M3-K9, M3-K8A, M68-K8, Moot-3-8B and Moot-68-9. Age of concrete: 5 years (Client data).
Construction:	Sophia tunnel (railway).
Client:	Royal Haskoning DHV
Case no.:	16-065


On request of Tom van Arkel, Royal Haskoning DHV, we have documented the inner structure and composition of the concrete cores.

5 of the 7 samples are dried at 35°C, vacuum impregnated with fluorescent epoxy and subsequently axially cut. Two samples were axially cut without first being impregnated. Two fluorescence impregnated thin sections are prepared from respectively the top and bottom of each of the 7 cores.

Analysis results and photo documentation are enclosed.

Pelcon Materials & Testing ApS


Peter Laugesen
Managing Director, M.Sc.


Claes Christiansen
Senior Geologist, Phd.

Remarks to the results:

The concrete in the 7 cores are composed of the similar materials, however, they exhibit some differences in the capillary porosity and homogeneity of the cement paste.

The cement paste consists of slag and OPC corresponding to a CEM III/B. A little fly ash is observed in the cement paste corresponding to <5% of the cement. The Coarse aggregate consists mainly of quartzite, sandstone and chert, and the fine aggregate consist of quartz/quartzite, feldspar, chert and rock fragments. The concrete is not air-entrained. The observed capillary porosity and homogeneity of the cement paste is presented in table 1 along with other selected results from the petrographic analysis. Estimate of concrete composition for each sample is presented in table 2 at the end of this section.

Table 1: Summary of selected results from the petrographic analysis. “Top” denotes the thin section at the top of the core and “Bottom” denotes the thin section from the bottom of the core. “Carb.” denotes the carbonated zone at the surface at the, “non-carb” denotes the non-carbonated zone in the top thin section.

	Moot 3			Moot 66	Moot 68		
	K8A	K8B	K9	K9	K1	K8	K9
* Average w/c (top)	0.50	0.50-0.55	0.40	0.45	0.45-0.50	0.40	0.40-0.45
(bottom)	0.40	0.40	0.35	0.35-0.40	0.40-0.45	0.40-0.45	0.40
** Average paste porosity [%] (top, carb.)	~64	~69	~77	~73	~71	~63	~62
(top, non-carb.)	~9-10	~11-12	~5-6	~8	~8-9	~5-6	~6-7
(bottom)	~5-6	~5-6	~3	~3-4	~6-7	~6-7	~5-6
*** Homogeneity (top)	2	1	1	1	2	2	1
(bottom)	1	1	1	2	3	2	2
Paste cracks [nos. pr. mm ²] (top)	0.8	>1	>1	>1	1	1	>1
(bottom)	0.9	0.8	>1	>1	>1	0.9	0.8
Bond cracks [nos. pr. mm ²] (top)	>1	0.7	0.5	1	0.4	0.6	1
(bottom)	1	0.8	0.7	0.9	0.6	0.4	0.8
Depth of carbonation [mm]	4-5	6-7	7	3-7	14	8-13	7-14
Depth of full oxidation [mm]	7	7	10-11	7	15	15	10
Depth of partly oxidation [mm]	>210	>180	11	20	140	180	100
Depth of ettringite precipitation [mm]	>45	>45	20	>45	0	Along crack	0

* Estimated from fluorescence intensity of the cement paste. Averages represent the full thin section from the bottom of the core, and the non-carbonated part in the top thin section.

** Based on measured fluorescence intensity of the cement paste. Averages represent the full thin section from the bottom of the core, and respectively the carbonated and non-carbonated parts in the top thin section.

*** 0: Homogeneous; 1: little inhomogeneous; 2: somewhat inhomogeneous; 3: Inhomogeneous.

In the inner part of the concrete the capillary porosity of the cement paste varies between equivalent w/c ratios of ca. 0.35 to 0.45. Some inhomogeneity is observed in the samples mostly originating

from bleeding. Evidence of marked bleeding is observed in the inner part of the core M68-K1, which results in a very inhomogeneous cement paste.

The capillary porosity increases towards the surface in the Moot 3 samples, which are taken from the outside, horizontal surface of the construction (client information). The increase in porosity at the top surface of this type of construction usually originates from internal bleeding.

In the Moot 68 samples, which are taken from the underside of the de tunnel deck (client information), no significant increase in capillary porosity is observed towards the surface.

The carbonated zone at the surface has a high paste porosity in all examined samples (figure 1). The depth of carbonation varies between 3 to 7 mm in the Moot-3 and Moot-66 samples, which are taken from the outside of the construction. The actual depth of the carbonation may be somewhat higher in the Moot-3 samples, because the original surface is not preserved due to deterioration, and it is not known how much material has eroded away. The depths of carbonation in the Moot-68 samples are higher (7-14 mm), which may be related to a higher CO₂ exposure originating from the train exhaust.

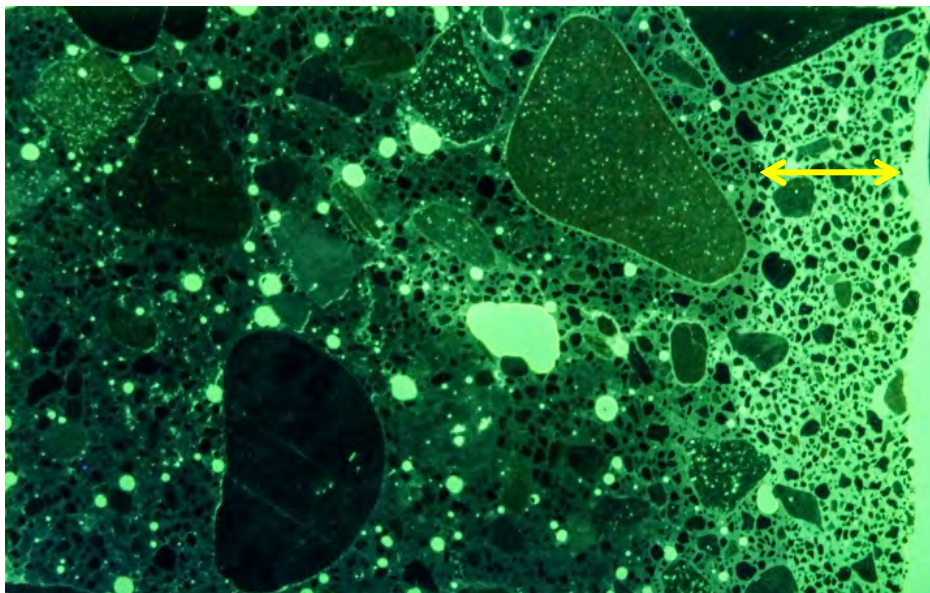


Figure 1: Photo of the thin section from the top of sample M3-K9 seen in UV light. The photo show the increase in porosity in the carbonated zone at the surface (marked with arrow).

The depth of oxidation of the cement paste also varies between the samples. Complete oxidation is observed within the carbonated zones. Below this zone, partly oxidation is observed in most of the samples; the oxidation decreases with depth and usually only occurs in areas where there is a local increase in the capillary porosity of the cement paste.

In the Moot-3 samples the surface of concrete is deteriorated due to frost action and biological growth. In these three cores a leached, altered zone is observed in the outer 0.1-0.5 mm of the core, which indicate exposure to a moist environment.

The observed deterioration indicates insufficient durability of the concrete at the surface of the Moot-3 samples. The observed increase in porosity makes the upper part of the concrete more

susceptible to deterioration. Unknown factors such as insufficiently curing of the surface may also have weakened the surface. It is however not possible to verify this because the original surface is not preserved in these samples.

The surfaces are not deteriorated in cores M66-Kg, M68-K1, M68-K8 and Moot-68-g and biological growth is not observed. Furthermore, a leached zone is not observed in these cores.

Table 2: Concrete mix design based on the micro analyses. The calculations are based on point counts on plane section (coarse aggregate) and in thin section (fine aggregate, cement paste).

	Moot 3			Moot 66	Moot 68		
	K8A	K8B	K9	K9	K1	K8	K9
Coarse Aggr. [Vol. %]	36	36	33	45	35	45	39
Fine Aggr. [Vol. %]	32	32	34	26	32	26	30
Cement paste [Vol. %]	31	31	32	28	32	28	30
Air [Vol %]	1	1	1	1	1	1	1
** Average w/c	0.45	0.46	0.38	0.40	0.45	0.41	0.41
Coarse Aggr. [Kg/m ³]	961	959	886	1203	940	1196	1049
Fine Aggr. [Kg/m ³]	854	839	904	671	828	674	787
Cement [Kg/m ³]	387	390	437	385	410	382	398
Water [Kg/m ³]	174	180	166	154	184	156	163

*Assumed densities are 2670 Kg/m³ for the coarse aggregate, 2630 Kg/m³ for the fine aggregate and 2950 Kg/m³ for the cement

**Average of w/c ratios from top and bottom thin section.

Thin section analysis (TI-B 5 modified)

Analyzed March 2016 by CC

Case No. 16-065

Parameter	Core M3-K8A
Coarse Aggregate	Quartzite, sandstone and chert.
Fine Aggregate	The sand consists of quartz/quartzite, feldspar, chert, sandstone and rock fragments.
Cement type	Slag and OPC.
Puzzolans	A little fly ash.
Capillary porosity (v/c-ratio)	The average capillary porosity corresponds to that of an equivalent w/c ratio of: Bottom: Ca. 0.40 (Porosity: ~5-6 %). Top: Ca. 0.50 in non-carbonated cement paste (Porosity: ~9-10 %). The carbonated cement paste has a very high capillary porosity (~64 %).
Homogeneity of paste	Bottom: Somewhat inhomogeneous. Top: A little inhomogeneous (assessed for non-carbonated cement paste only).
Entrained air; estimated	<1 %. Not air-entrained.
Bonding micro cracks at sand	Bottom: 1 pr. mm ² . Top: >1 pr. mm ² .
Paste micro cracks	Bottom: 0.9 pr. mm ² . Top: 0.8 pr. mm ² .
Carbonation	4-5 mm. The outer ca. 0.1 mm of the cement paste is completely altered/leached and appears transparent and isotropic in thin section.
Oxidation	The cement paste is completely oxidized in the upper 7 mm. Below this depth the cement paste appears partially oxidized throughout the length of the core (>210 mm); the degree of oxidized areas decreases with depth.
Fine, coarse cracks, porosities	-
Alkali-silica reactions	None.
Portlandite in cracks and voids	None.
Ettringite in cracks and voids	Some ettringite in cavities in the upper thin section (>45 mm) of the concrete.
Surface	The concrete surface is uneven and contains exposed aggregate grains because of weathering. Biological growth is observed on the surface.
Other	-
Remarks	The concrete does not contain a frost-securing air void structure.

Thin section analysis (TI-B 5 modified)

Analyzed March 2016 by CC

Case No. 16-065

Parameter	Core Moot-3-8B
Coarse Aggregate	Quartzite, sandstone and chert.
Fine Aggregate	The sand consists of quartz/quartzite, feldspar, chert, sandstone and rock fragments.
Cement type	Slag and OPC.
Puzzolans	A little fly ash.
Capillary porosity (v/c-ratio)	The average capillary porosity corresponds to that of an equivalent w/c ratio of: Bottom: Ca. 0.40 (Porosity: ~5-6 %). Top: Ca. 0.50-0.55 in non-carbonated cement paste (Porosity: ~11-12 %).. The carbonated cement paste has a very high capillary porosity (~69 %).
Homogeneity of paste	Bottom: A little inhomogeneous. Top: A little inhomogeneous (assessed for non-carbonated cement paste only).
Entrained air; estimated	<1 %. Not air-entrained.
Bonding micro cracks at sand	Bottom: 0.8 pr. mm ² . Top: 0.7 pr. mm ² .
Paste micro cracks	Bottom: 0.8 pr. mm ² . Top: >1 pr. mm ² .
Carbonation	6-7 mm. The outer ca. 0.25 mm of the cement paste is completely altered/leached and appears transparent and isotropic in thin section.
Oxidation	The cement paste is completely oxidized in the upper 7 mm. Below this depth the cement paste appears partially oxidized throughout the length of the core; most of the cement paste is oxidized in the upper ca. 60 mm. Below 60 mm depth most of the cement paste appears non-oxidized (>180 mm).
Fine, coarse cracks, porosities	-
Alkali-silica reactions	None.
Portlandite in cracks and voids	None.
Ettringite in cracks and voids	Some ettringite in cavities in the upper thin section (>45 mm) of the concrete.
Surface	The concrete surface is uneven and contains exposed aggregate grains because of weathering. Biological growth is observed on the surface.
Other	-
Remarks	The concrete does not contain a frost-securing air void structure.

Thin section analysis (TI-B 5 modified)

Analyzed March 2016 by CC

Case No. 16-065

Parameter	Core M3-K9
Coarse Aggregate	Quartzite, sandstone and chert.
Fine Aggregate	The sand consists of quartz/quartzite, feldspar, chert, sandstone and rock fragments.
Cement type	Slag and OPC.
Puzzolans	A little fly ash.
Capillary porosity (v/c-ratio)	The average capillary porosity corresponds to that of an equivalent w/c ratio of: Bottom: Ca. 0.35 (Porosity: ~3 %). Top: Ca. 0.40 in non-carbonated cement paste (Porosity: ~5-6 %). The carbonated cement paste has a very high capillary porosity (~77 %).
Homogeneity of paste	Bottom: A little inhomogeneous. Top: A little inhomogeneous (assessed for non-carbonated cement paste only).
Entrained air; estimated	<1 %. Not air-entrained.
Bonding micro cracks at sand	Bottom: 0.7 pr. mm ² . Top: 0.5 pr. mm ² .
Paste micro cracks	Bottom: >1 pr. mm ² . Top: >1 pr. mm ² .
Carbonation	7 mm. The outer ca. 0.5 mm of the cement paste is completely altered/leached and appears transparent and isotropic in thin section.
Oxidation	The cement paste is complete oxidized in the upper 10-11 mm.
Fine, coarse cracks, porosities	There are a couple of 20-30 mm deep, fine cracks (shrinkage) oriented perpendicularly to the surface.
Alkali-silica reactions	None.
Portlandite in cracks and voids	A little portlandite in cavities.
Ettringite in cracks and voids	A little ettringite in cavities in the upper ca. 20 mm of the concrete.
Surface	The concrete surface is uneven and contains exposed aggregate grains because of weathering. Biological growth is observed on the surface.
Other	-
Remarks	The concrete does not contain a frost-securing air void structure.

Thin section analysis (TI-B 5 modified)

Analyzed March 2016 by CC

Case No. 16-065

Parameter	Core M66-K9
Coarse Aggregate	Quartzite, sandstone and chert.
Fine Aggregate	The sand consists of quartz/quartzite, feldspar, chert, sandstone and rock fragments.
Cement type	Slag and OPC.
Puzzolans	A little fly ash.
Capillary porosity (v/c-ratio)	The average capillary porosity corresponds to that of an equivalent w/c ratio of: Bottom: Ca. 0.35-0.40 (Porosity: ~3-4 %). Top: Ca. 0.45 in non-carbonated cement paste (Porosity: ~8 %). The carbonated cement paste has a very high capillary porosity (~73 %).
Homogeneity of paste	Bottom: Somewhat inhomogeneous. Top: A little inhomogeneous (assessed for non-carbonated cement paste only).
Entrained air; estimated	<1 %. Not air-entrained.
Bonding micro cracks at sand	Bottom: 0.9 pr. mm ² . Top: 1.0 pr. mm ² .
Paste micro cracks	Bottom: >1 pr. mm ² . Top: >1 pr. mm ² .
Carbonation	3-7 mm.
Oxidation	The cement paste is completely oxidized in the upper 7 mm. Between 7 and 20 mm the cement paste appears mostly oxidized. Below 20 mm the cement paste appears mostly non-oxidized but contains smaller areas with oxidized cement paste.
Fine, coarse cracks, porosities	Bottom thin section: There is some porosity from bleeding, bonding defects in the form of gaps along aggregate grains is also observed.
Alkali-silica reactions	None.
Portlandite in cracks and voids	A little portlandite in cavities.
Ettringite in cracks and voids	A little ettringite in cavities in the top thin section (>45 mm).
Surface	The concrete surface is even.
Other	-
Remarks	The concrete does not contain a frost-securing air void structure.

Thin section analysis (TI-B 5 modified)

Analyzed March 2016 by CC

Case No. 16-065

Parameter	Core M68-K1
Coarse Aggregate	Quartzite, sandstone and chert.
Fine Aggregate	The sand consists of quartz/quartzite, feldspar, chert, sandstone and rock fragments.
Cement type	Slag and OPC.
Puzzolans	A little fly ash.
Capillary porosity (v/c-ratio)	The average capillary porosity corresponds to that of an equivalent w/c ratio of: Bottom: Ca. 0.40-0.45 (Porosity: ~6-7 %). Top: Ca. 0.45-0.50 in non-carbonated cement paste (Porosity: ~8-9 %). The carbonated cement paste has a very high capillary porosity (~71 %).
Homogeneity of paste	Bottom: Inhomogeneous. Top: Somewhat inhomogeneous (assessed for non-carbonated cement paste only).
Entrained air; estimated	<1 %. Not air-entrained.
Bonding micro cracks at sand	Bottom: 0.6 pr. mm ² . Top: 0.4 pr. mm ² .
Paste micro cracks	Bottom: >1 pr. mm ² . Top: 1.0 pr. mm ² .
Carbonation	14 mm.
Oxidation	The cement paste is completely oxidized in the upper 15 mm. Between 15 and 140 mm the cement paste appears partially oxidized. Below 140 mm the cement paste is non-oxidized.
Fine, coarse cracks, porosities	The bottom thin section contains much porosity stemming from bleeding.
Alkali-silica reactions	None.
Portlandite in cracks and voids	None.
Ettringite in cracks and voids	None.
Surface	The concrete surface is even.
Other	-
Remarks	The concrete does not contain a frost-securing air void structure.

Thin section analysis (TI-B 5 modified)

Analyzed March 2016 by CC

Case No. 16-065

Parameter	Core M68-K8
Coarse Aggregate	Quartzite, sandstone and chert.
Fine Aggregate	The sand consists of quartz/quartzite, feldspar, chert, sandstone and rock fragments.
Cement type	Slag and OPC.
Puzzolans	A little fly ash.
Capillary porosity (v/c-ratio)	The average capillary porosity corresponds to that of an equivalent w/c ratio of: Bottom: Ca. 0.40-0.45 (Porosity: ~6-7 %). Top: Ca. 0.40 in non-carbonated cement paste (Porosity: ~5-6 %). The carbonated cement paste has a very high capillary porosity (~63 %).
Homogeneity of paste	Bottom: Somewhat inhomogeneous. Top: Somewhat inhomogeneous (assessed for non-carbonated cement paste only).
Entrained air; estimated	<1 %. Not air-entrained.
Bonding micro cracks at sand	Bottom: 0.4 pr. mm ² . Top: 0.6 pr. mm ² .
Paste micro cracks	Bottom: 0.9 pr. mm ² . Top: 1.0 pr. mm ² .
Carbonation	8-13 mm.
Oxidation	The cement paste is completely oxidized in the upper 15 mm. Below 15 mm the cement paste is sporadically oxidized throughout the length of the core (>180 mm).
Fine, coarse cracks, porosities	A fine crack perpendicular to the surface propagates through the entire core. The crack pattern is typical for brittle cracks. Bottom thin section; there are many bonding defects in the form of highly porous zones along aggregates.
Alkali-silica reactions	None.
Portlandite in cracks and voids	None.
Ettringite in cracks and voids	Ettringite is abundant in the crack and in the cavities along the crack.
Surface	The concrete surface is even.
Other	-
Remarks	The concrete does not contain a frost-securing air void structure.

Thin section analysis (TI-B 5 modified)

Analyzed March 2016 by CC

Case No. 16-065

Parameter	Core Moot-68-9
Coarse Aggregate	Quartzite, sandstone and chert.
Fine Aggregate	The sand consists of quartz/quartzite, feldspar, chert, sandstone and rock fragments.
Cement type	Slag and OPC.
Puzzolans	A little fly ash.
Capillary porosity (v/c-ratio)	The average capillary porosity corresponds to that of an equivalent w/c ratio of: Bottom: Ca. 0.40 (Porosity: ~5-6 %). Top: Ca. 0.40-0.45 in non-carbonated cement paste (Porosity: ~6-7 %). The carbonated cement paste has a very high capillary porosity (~62 %).
Homogeneity of paste	Bottom: Somewhat inhomogeneous. Top: A little inhomogeneous (assessed for non-carbonated cement paste only).
Entrained air; estimated	<1 %. Not air-entrained.
Bonding micro cracks at sand	Bottom: 0.8 pr. mm ² . Top: 1.0 pr. mm ² .
Paste micro cracks	Bottom: 0.8 pr. mm ² . Top: >1 pr. mm ² .
Carbonation	7-14 mm.
Oxidation	The cement paste is completely oxidized in the upper 10 mm. Between 10 and 100 mm the cement paste appears mostly non-oxidized but contains smaller areas with oxidized cement paste.
Fine, coarse cracks, porosities	Bottom thin section; there are many bonding defects in the form of highly porous zones along aggregates.
Alkali-silica reactions	None.
Portlandite in cracks and voids	A little portlandite in bonding zones along aggregate grains.
Ettringite in cracks and voids	None.
Surface	The concrete surface is even.
Other	-
Remarks	The concrete does not contain a frost-securing air void structure.

Photo documentation

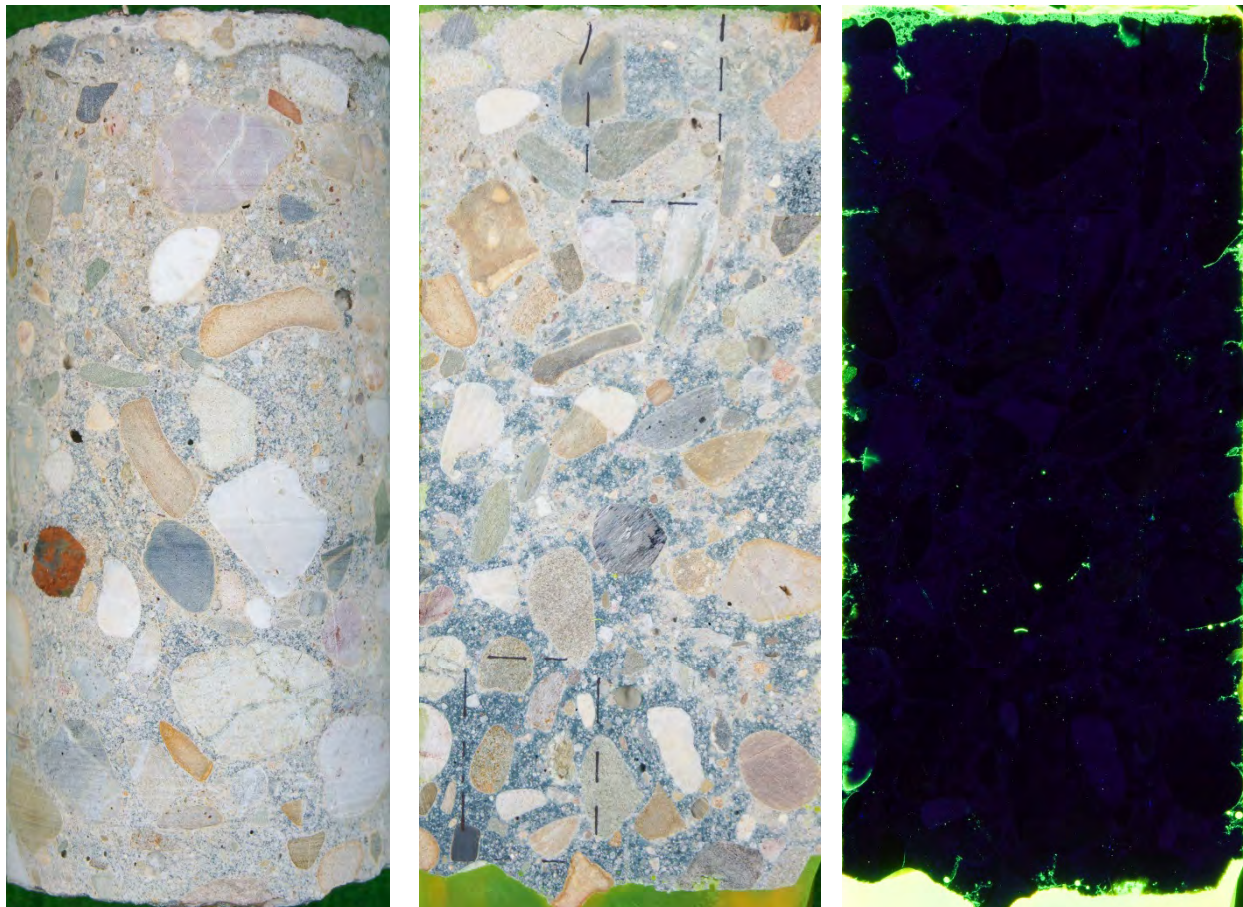


Figure 2: Photos of core M3-K8A with the surface upwards. The left photo shows the full core as received; the middle photo shows the fluorescence impregnated axial section of the core seen in white light, and on the right in UV light. Positions of thin sections are marked with black dotted lines.

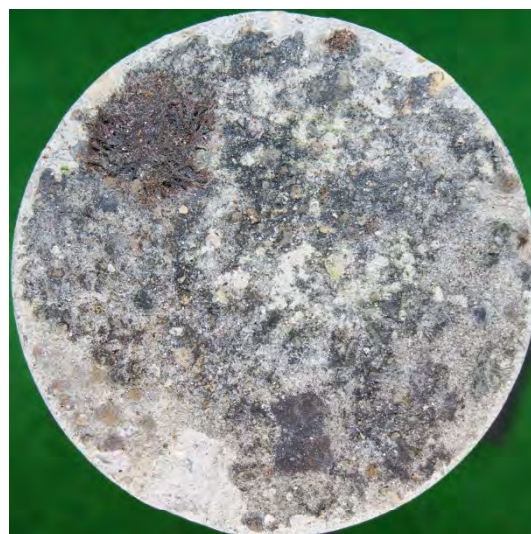


Figure 3: Photo of the surface of core M3-K8A. The surface contains exposed aggregate grains. Biological growth is seen on the surface.

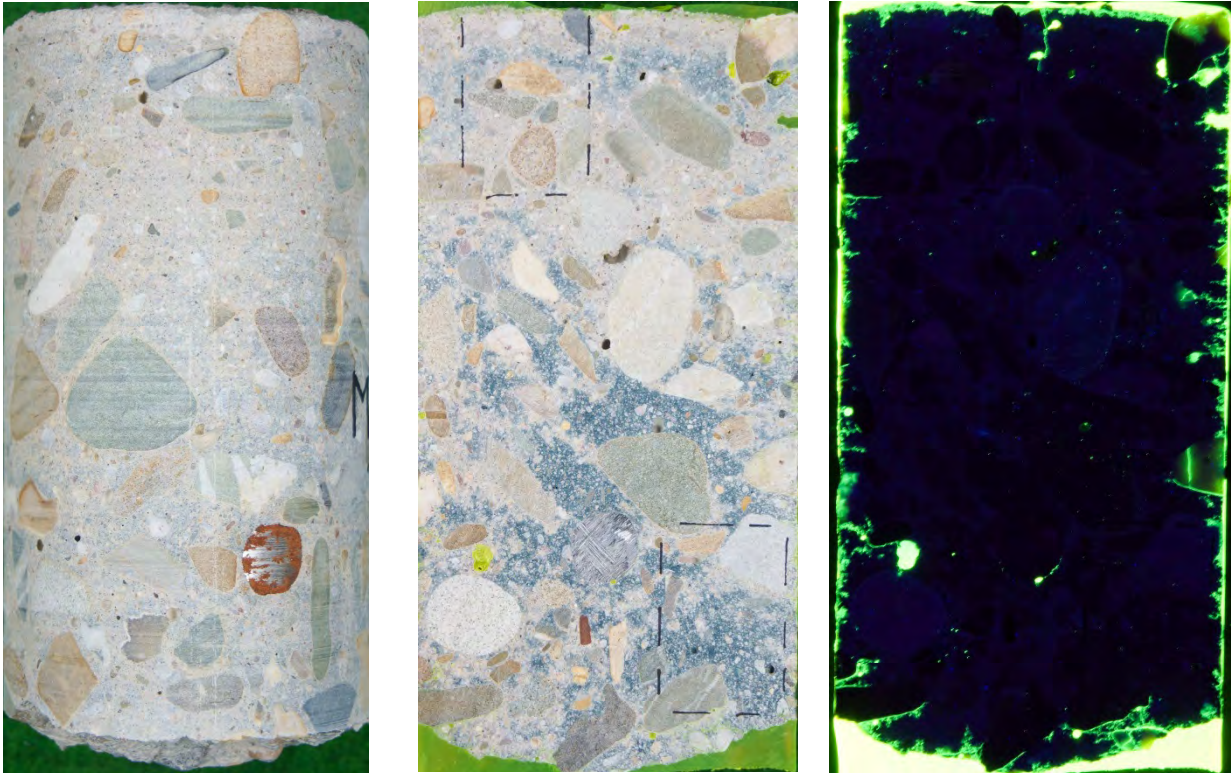


Figure 4: Photos of core Moot-3-8B with the surface upwards. The left photo shows the full core as received; the middle photo shows the fluorescence impregnated axial section of the core seen in white light, and on the right in UV light. Positions of thin sections are marked with black dotted lines.

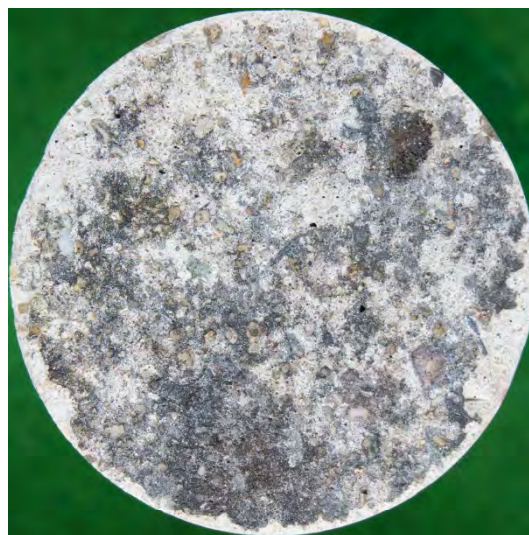


Figure 5: Photo of the surface of core M3-K8B. The surface contains exposed aggregate grains. Biological growth is seen on the surface.

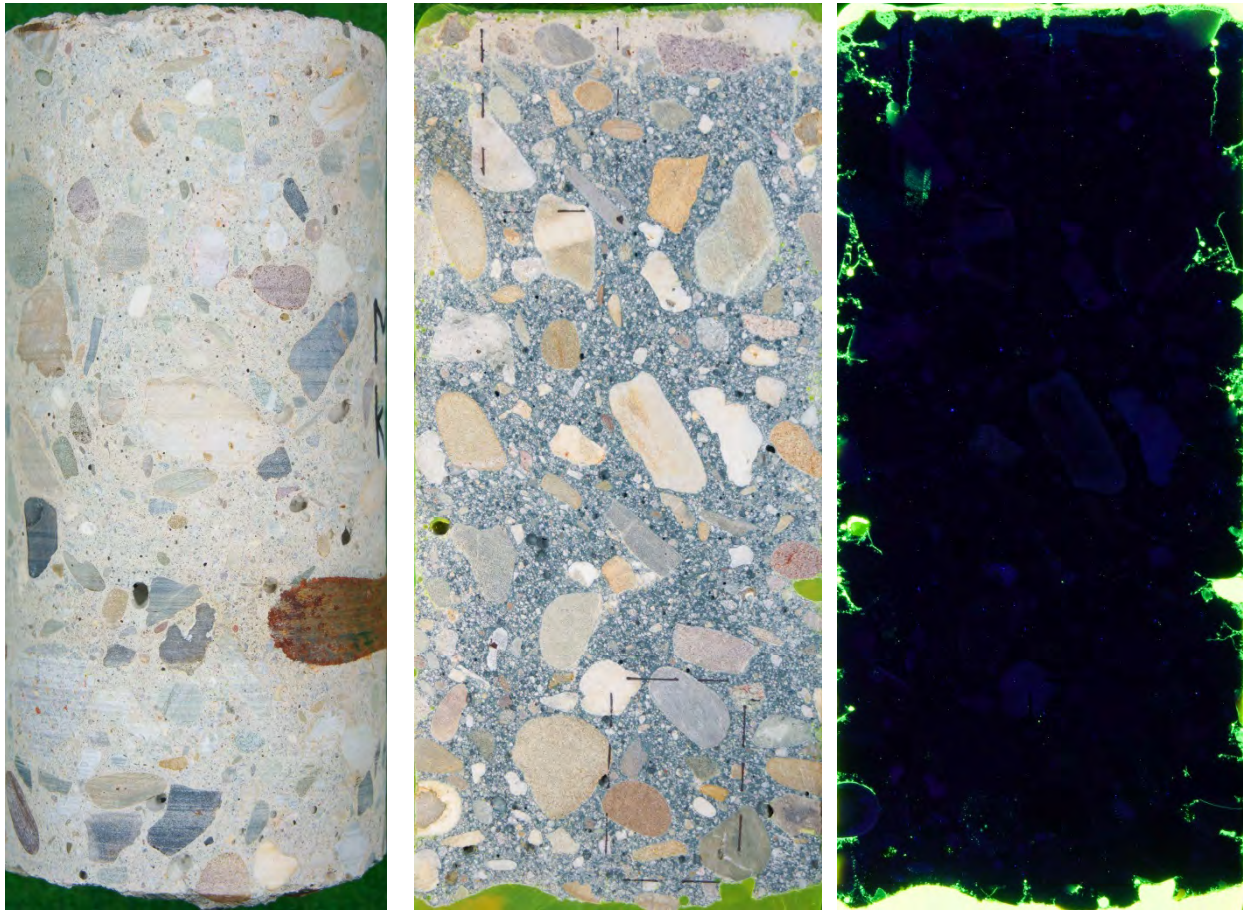


Figure 6: Photos of core M3-K9 with the surface upwards. The left photo shows the full core as received; the middle photo shows the fluorescence impregnated axial section of the core seen in white light, and on the right in UV light. Positions of thin sections are marked with black dotted lines.

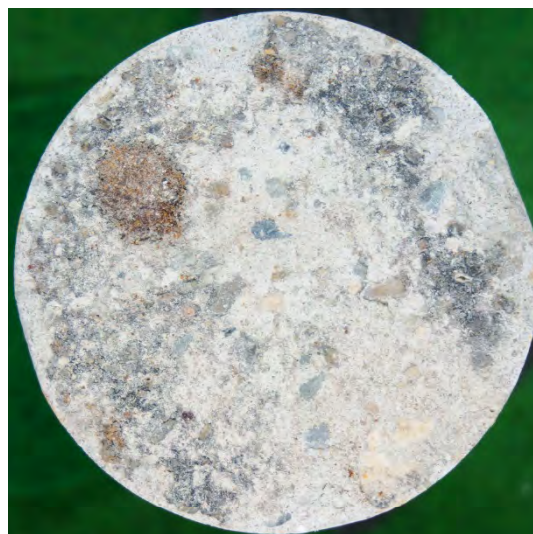


Figure 7: Photo of the surface of core M3-K9. The surface contains exposed aggregate grains. Biological growth is seen on the surface.



Figure 8: Photos of core M66-K9 with the surface upwards. The left photo shows the full core as received; the right photo shows the axial section of the (non-impregnated) core seen in white light. Positions of thin sections are marked with black dotted lines.



Figure 9: Photo of the surface of core M66-K9. The surface is plane and smooth. Part of the surface has broken off, which probably happened when taking out the core.

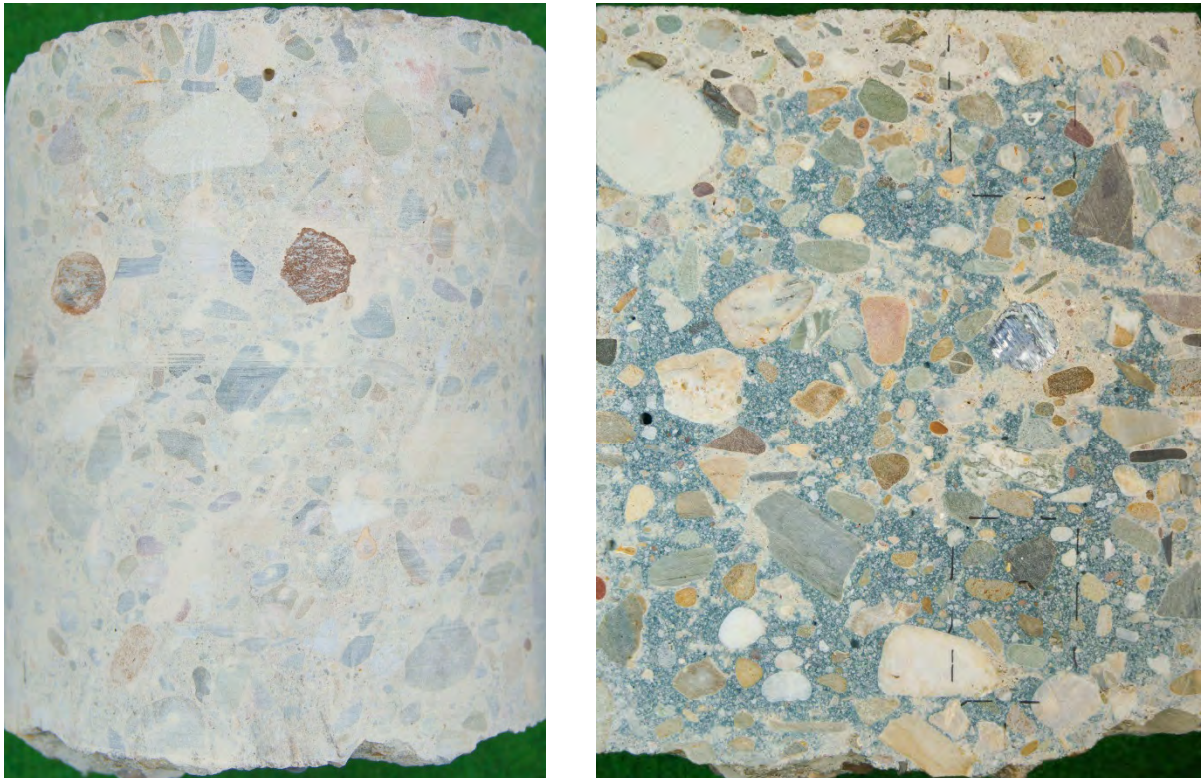


Figure 10: Photos of core M68-K1 with the surface upwards. The left photo shows the full core as received; the right photo shows the axial section of the (non-impregnated) core seen in white light. Positions of thin sections are marked with black dotted lines.

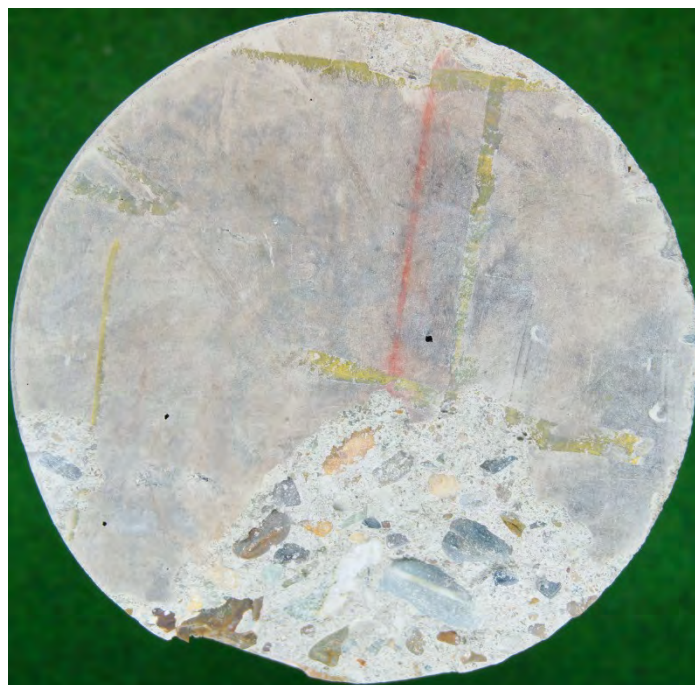


Figure 11: Photo of the surface of core M68-K1. The surface is plane and smooth. Part of the surface has broken off, which probably happened when taking out the core.

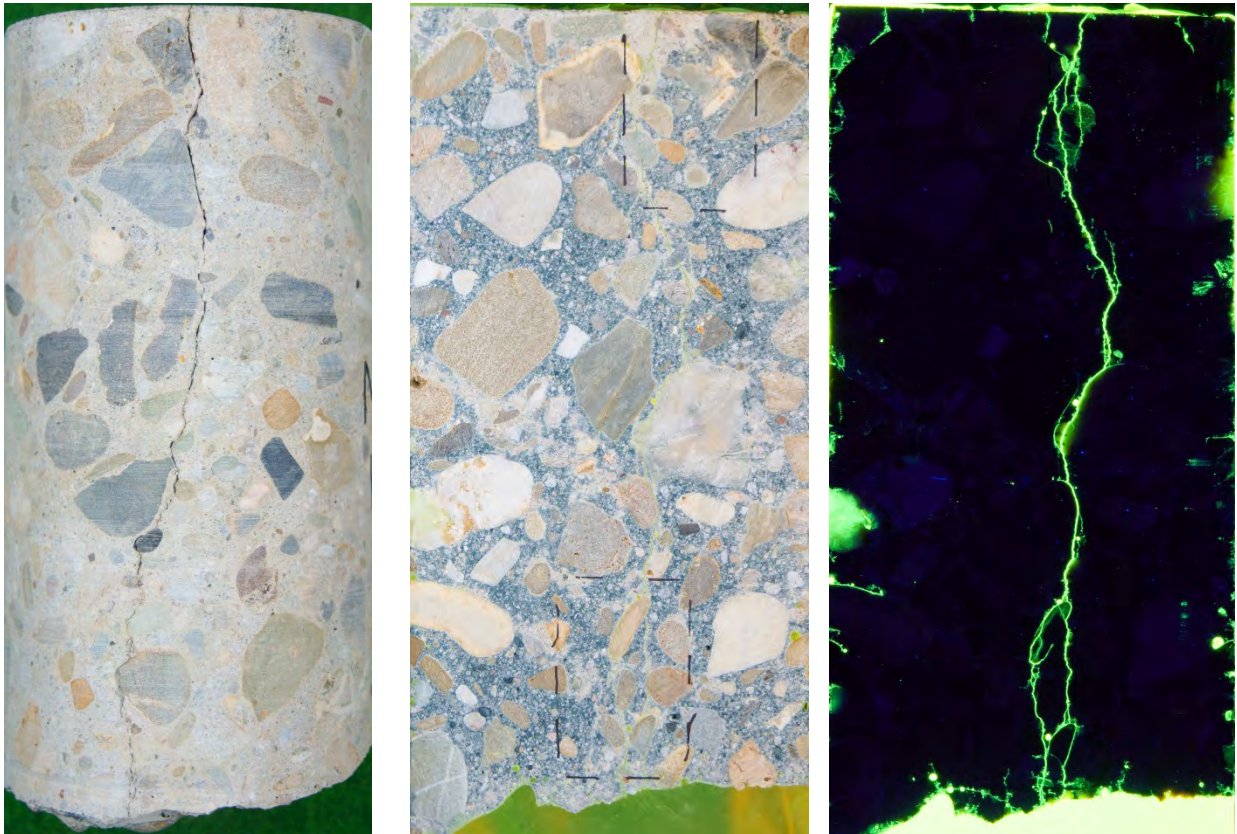


Figure 12: Photos of core M68-K8 with the surface upwards. The left photo shows the full core as received; the middle photo shows the fluorescence impregnated axial section of the core seen in white light, and on the right in UV light. Positions of thin sections are marked with black dotted lines. There is a crack through the core oriented perpendicularly to the surface.

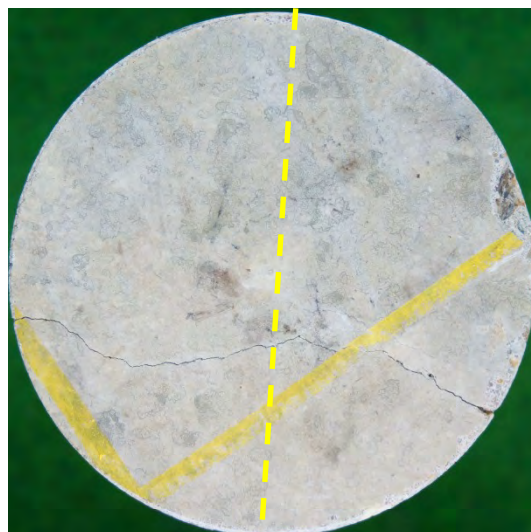


Figure 13: Photo of the surface of core M68-K8. The surface is plane and smooth. Position of the axial section is marked with yellow.

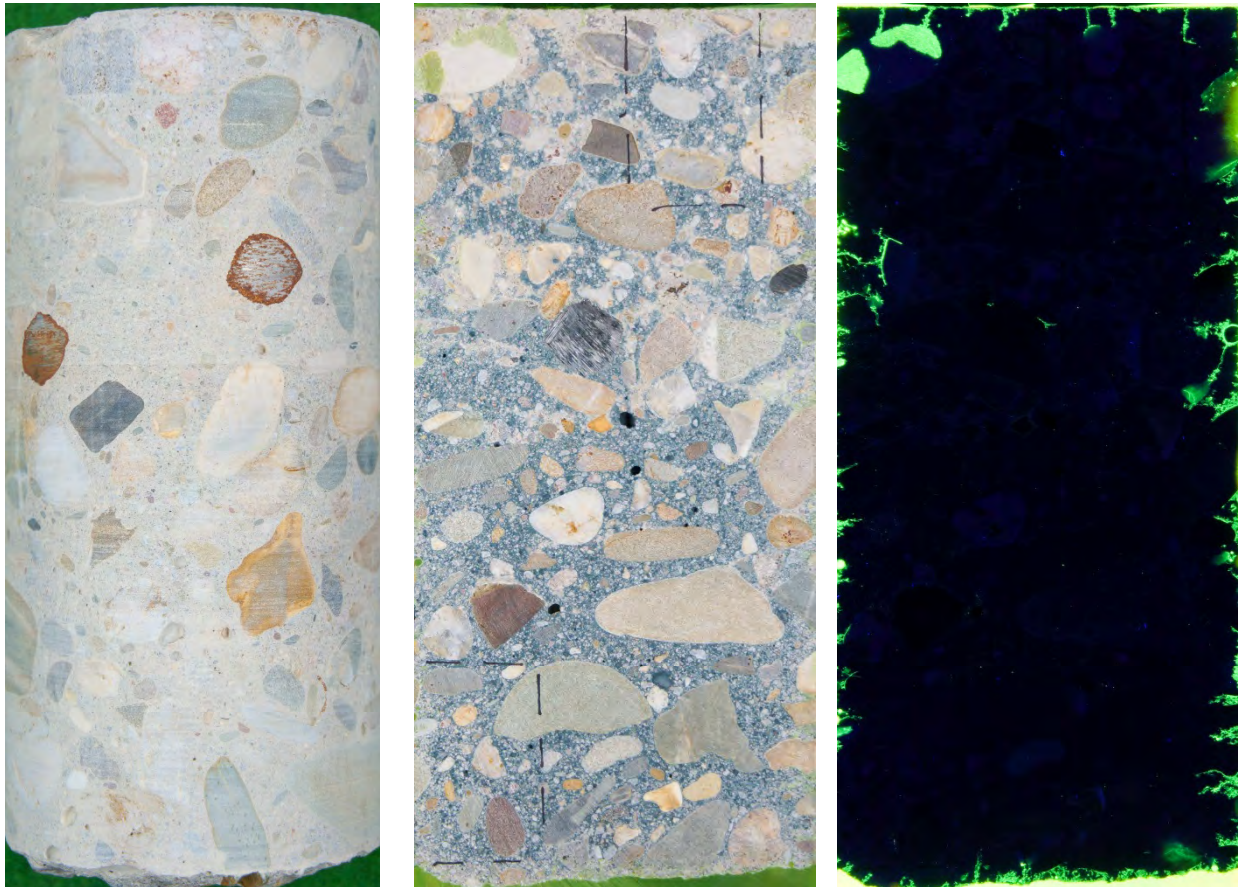
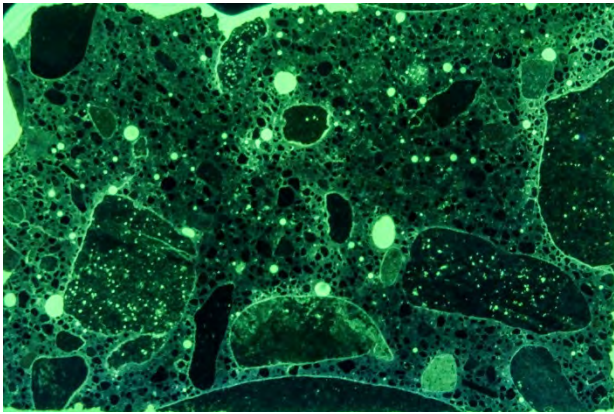


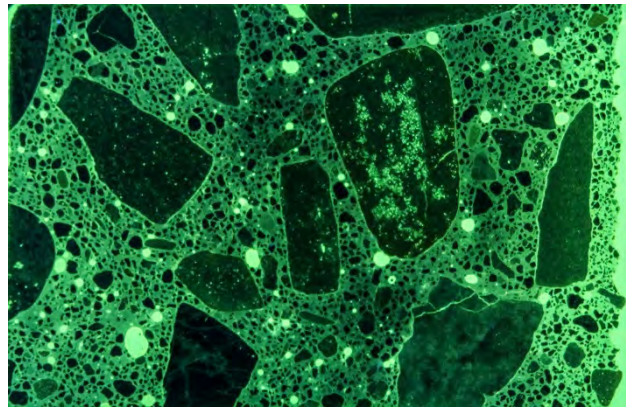
Figure 14: Photos of core Moot-68-9 with the surface upwards. The left photo shows the full core as received; the middle photo shows the fluorescence impregnated axial section of the core seen in white light, and on the right in UV light. Positions of thin sections are marked with black dotted lines.



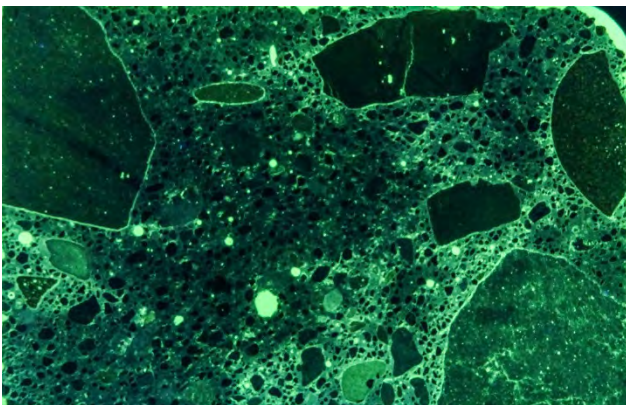
Figure 15: Photo of the surface of core M68-9. The surface is plane and smooth.



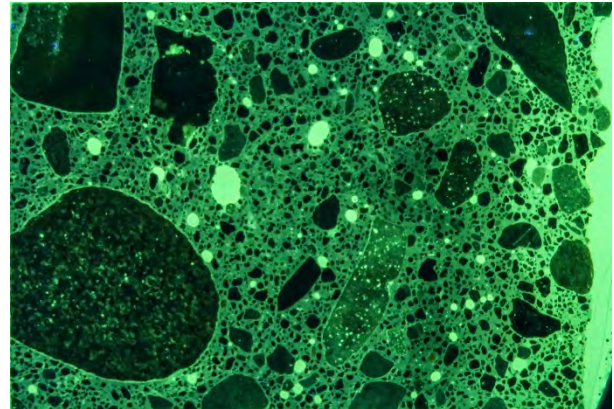
Core M3-K8A, bottom



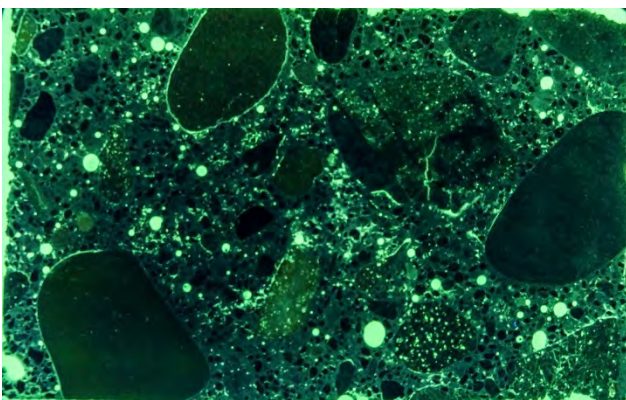
Core M3-K8A, top



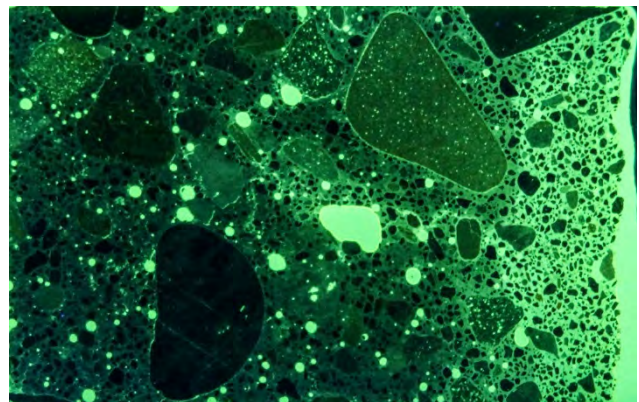
Core Moot-3-8B, bottom



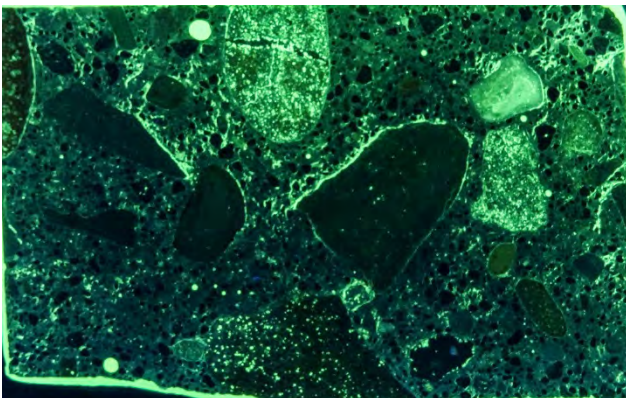
Core Moot-3-8B, top



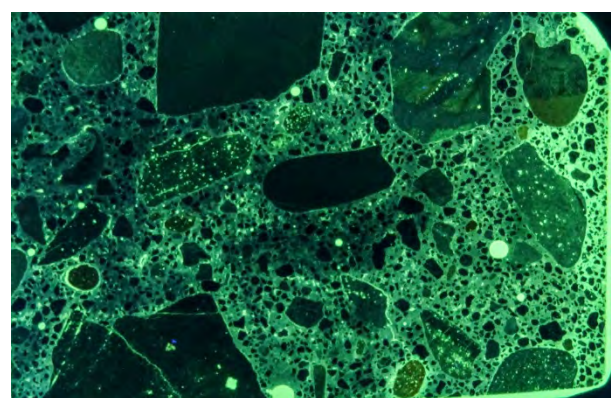
Core M3-K9, bottom



Core M3-K9, top

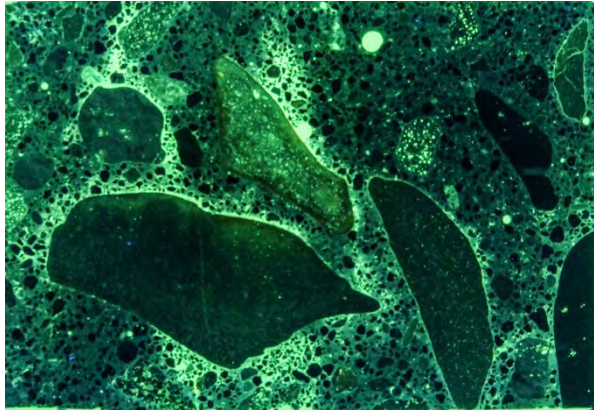


Core M66-K9, bottom

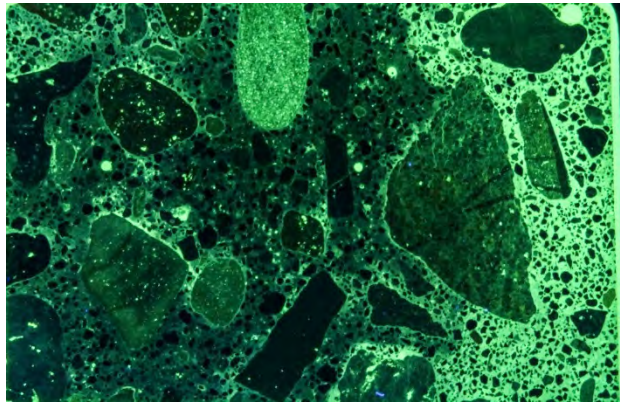


Core M66-K9, top

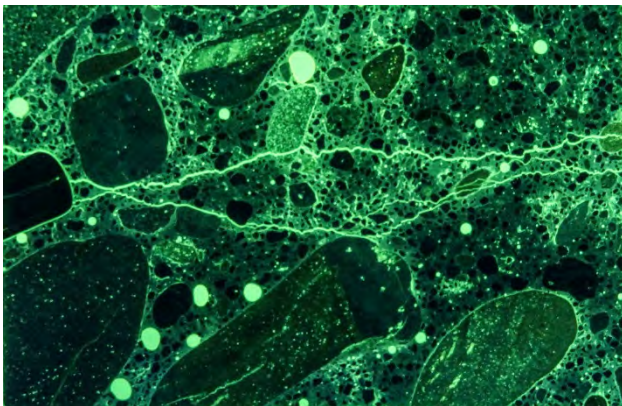
Figure 16: see next page for explanation.



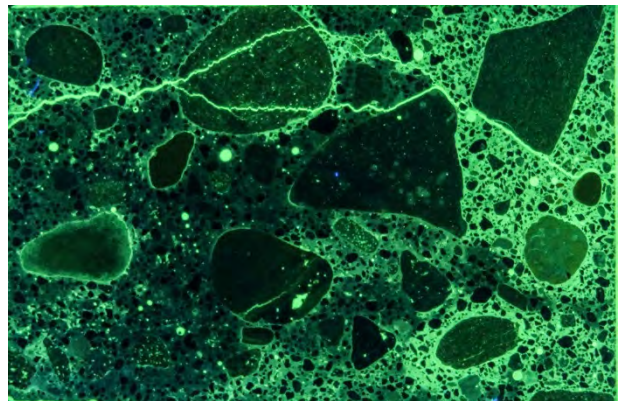
Core M68-K1, bottom



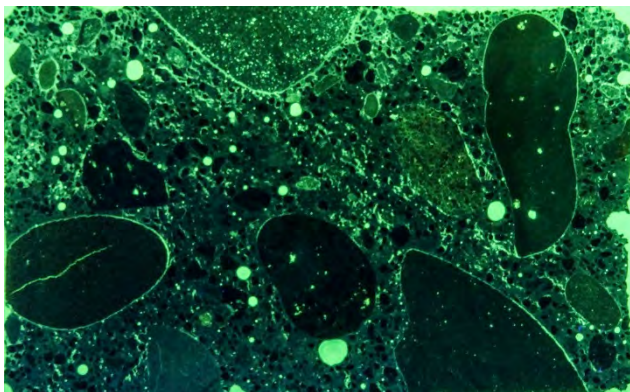
Core M68-K1, top



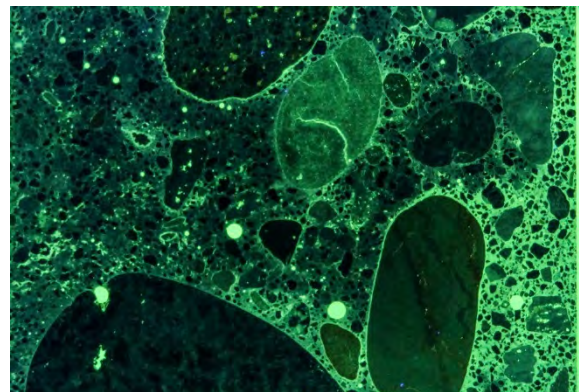
Core M68-K8, bottom



Core M68-K8, top

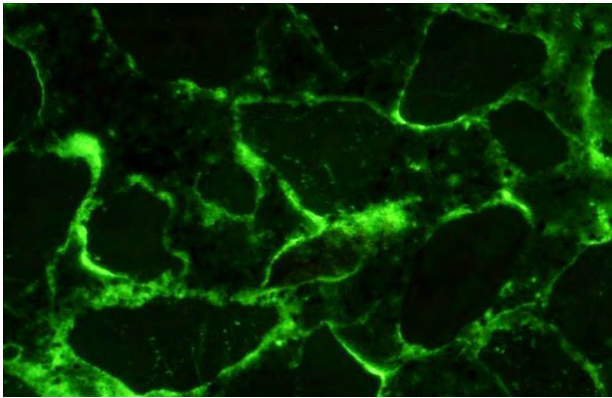


Core Moot-68-9, bottom

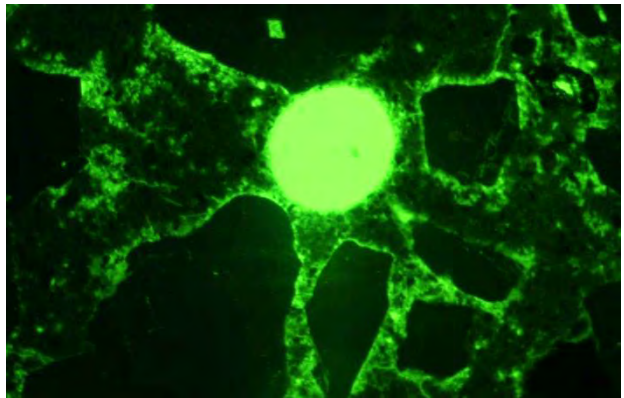


Core Moot-68-9, top

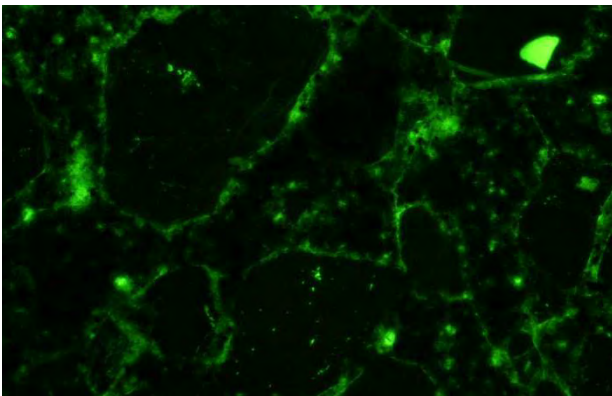
Figure 16: Photos of full thin sections viewed in UV-light. Thin sections from the bottom of the cores are in the left column, and thin sections from the top of cores are in the right column; the surface is on the right hand side.



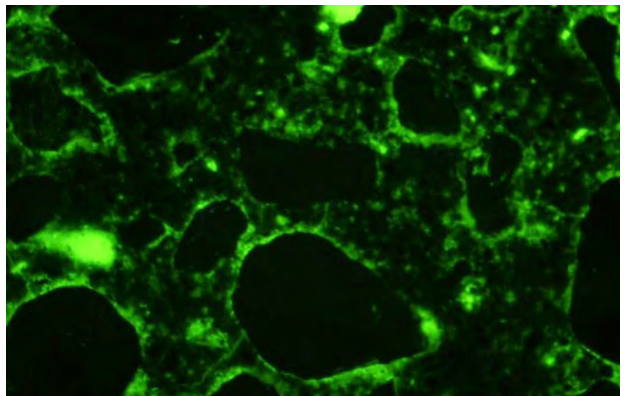
Core M3-K8A, bottom



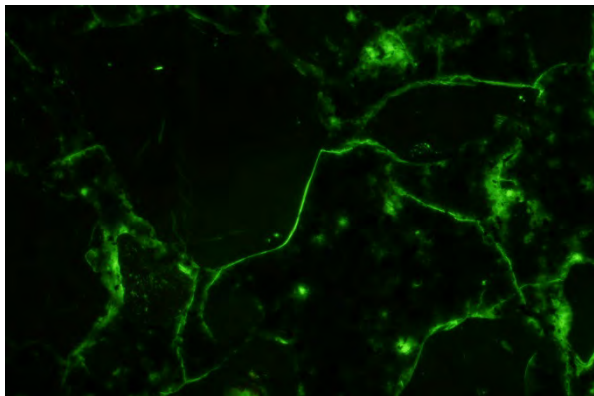
Core M3-K8A, top



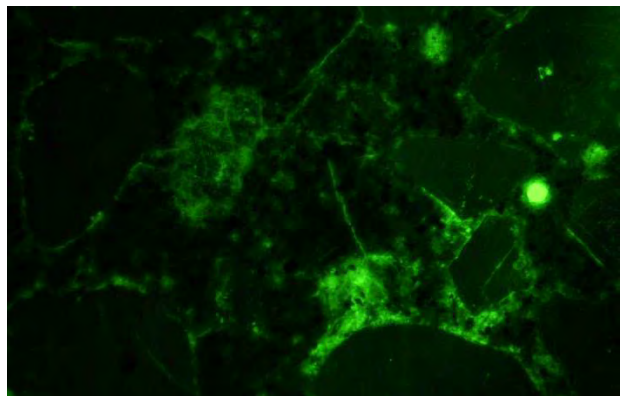
Core Moot-3-8B, bottom



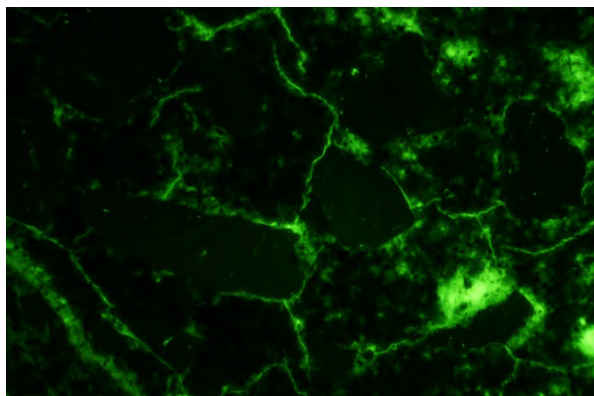
Core Moot-3-8B, top



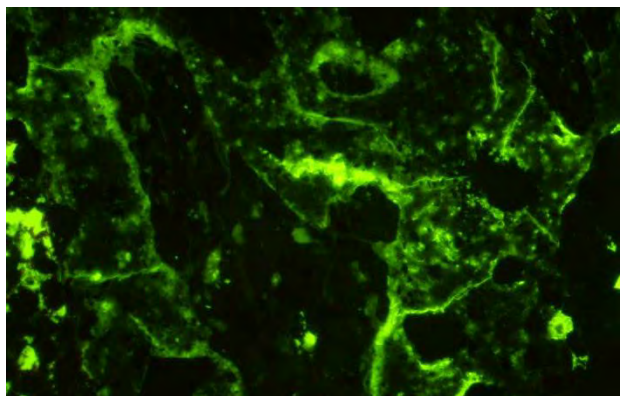
Core M3-K9, bottom



Core M3-K9, top

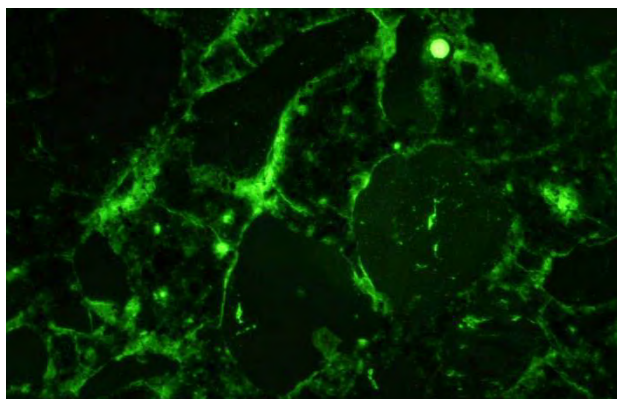


Core M66-K9, bottom

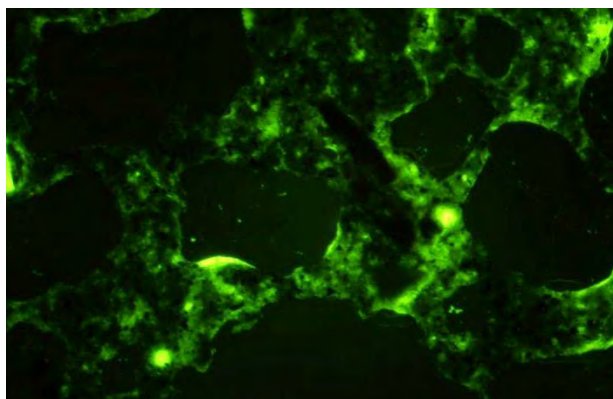


Core M66-K9, top

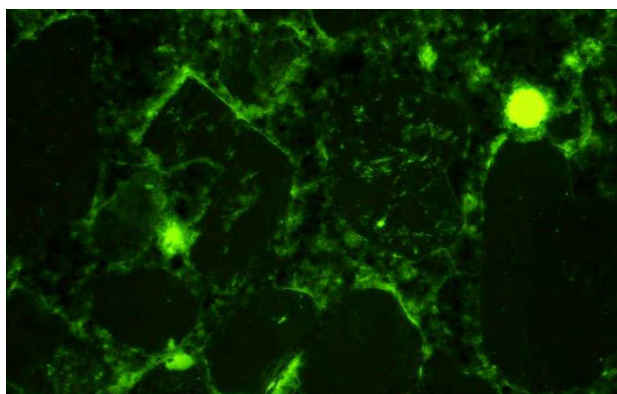
Figure 17: see next page for explanation.



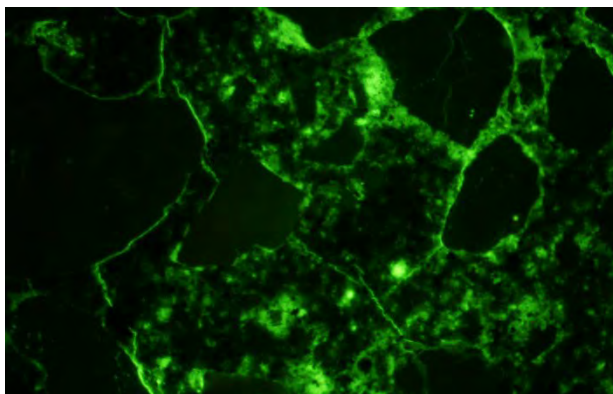
Core M68-K1, bottom



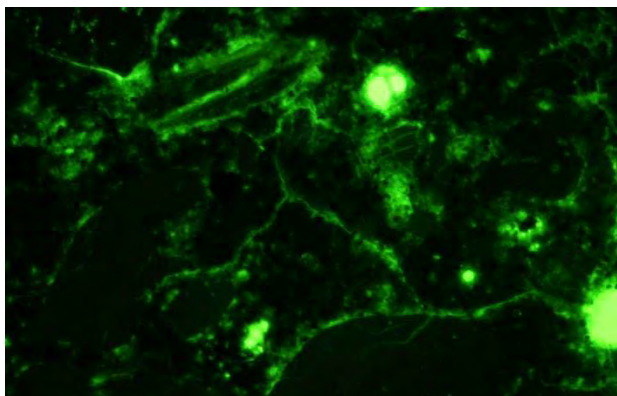
Core M68-K1, top



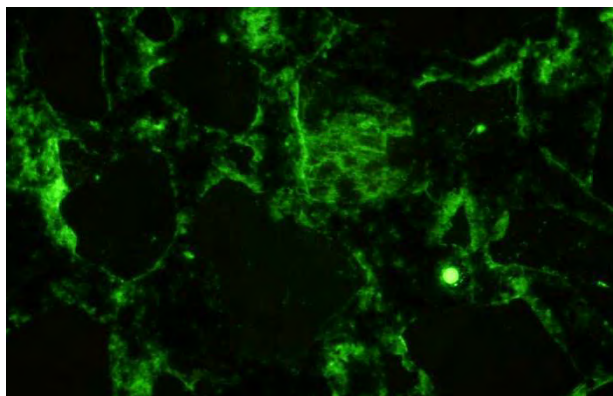
Core M68-K8, bottom



Core M68-K8, top

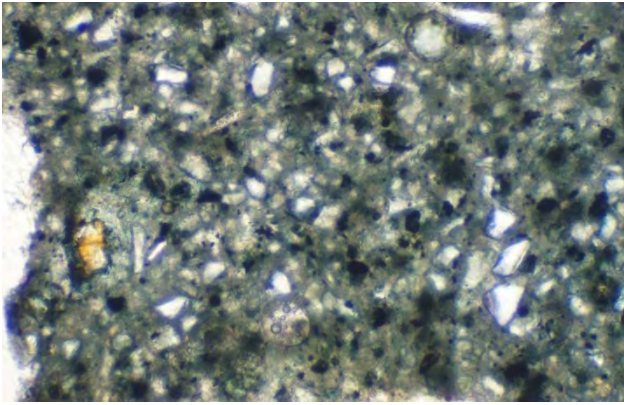


Core Moot-68-9, bottom

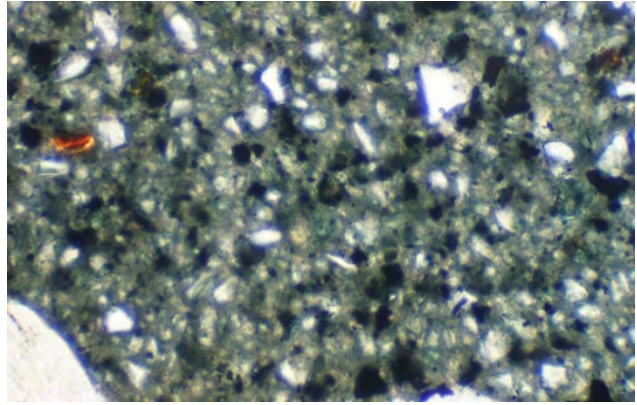


Core Moot-68-9, top

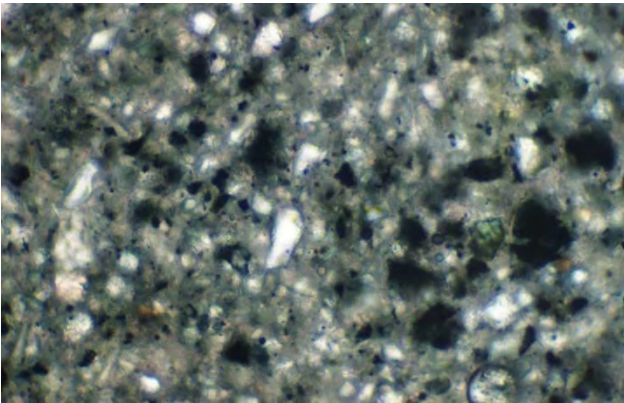
Figure 17: Thin section photos seen in UV light at magnification x63. Photos from the bottom thin sections are in the left column, and thin sections from the top thin sections are in the right column.



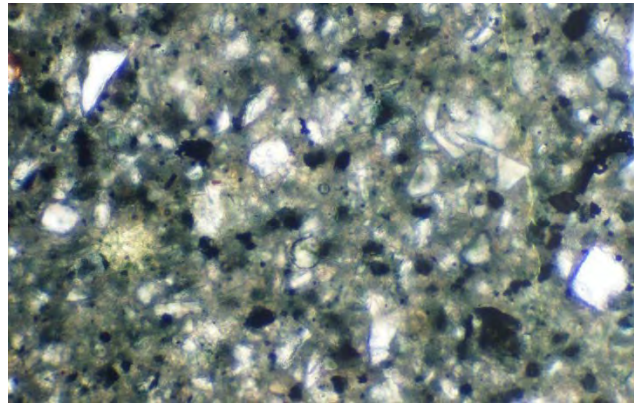
Core M3-K8A



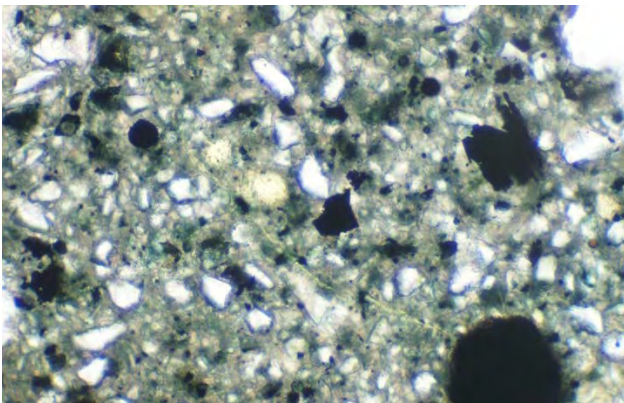
Core Moot-3-8B



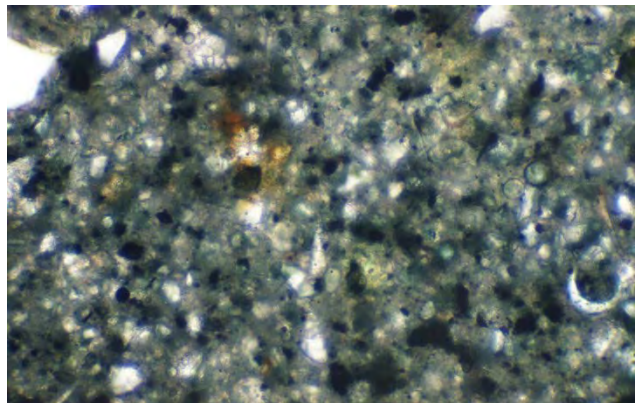
Core M3-K9



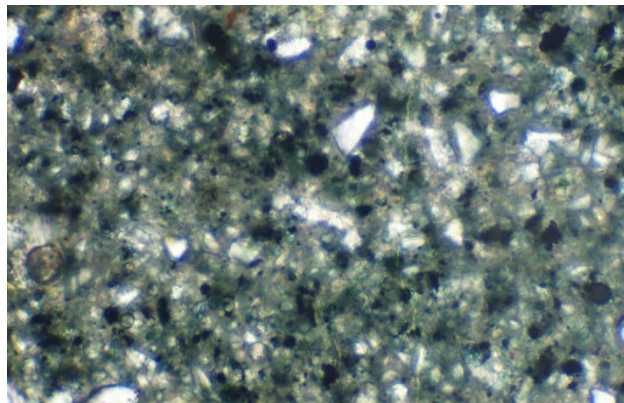
Core M66-K9



Core M68-K1



Core M68-K8



Core Moot-68-9

Figure 18: Thin section photos of the paste in the 7 cores seen in white light at magnification x200.

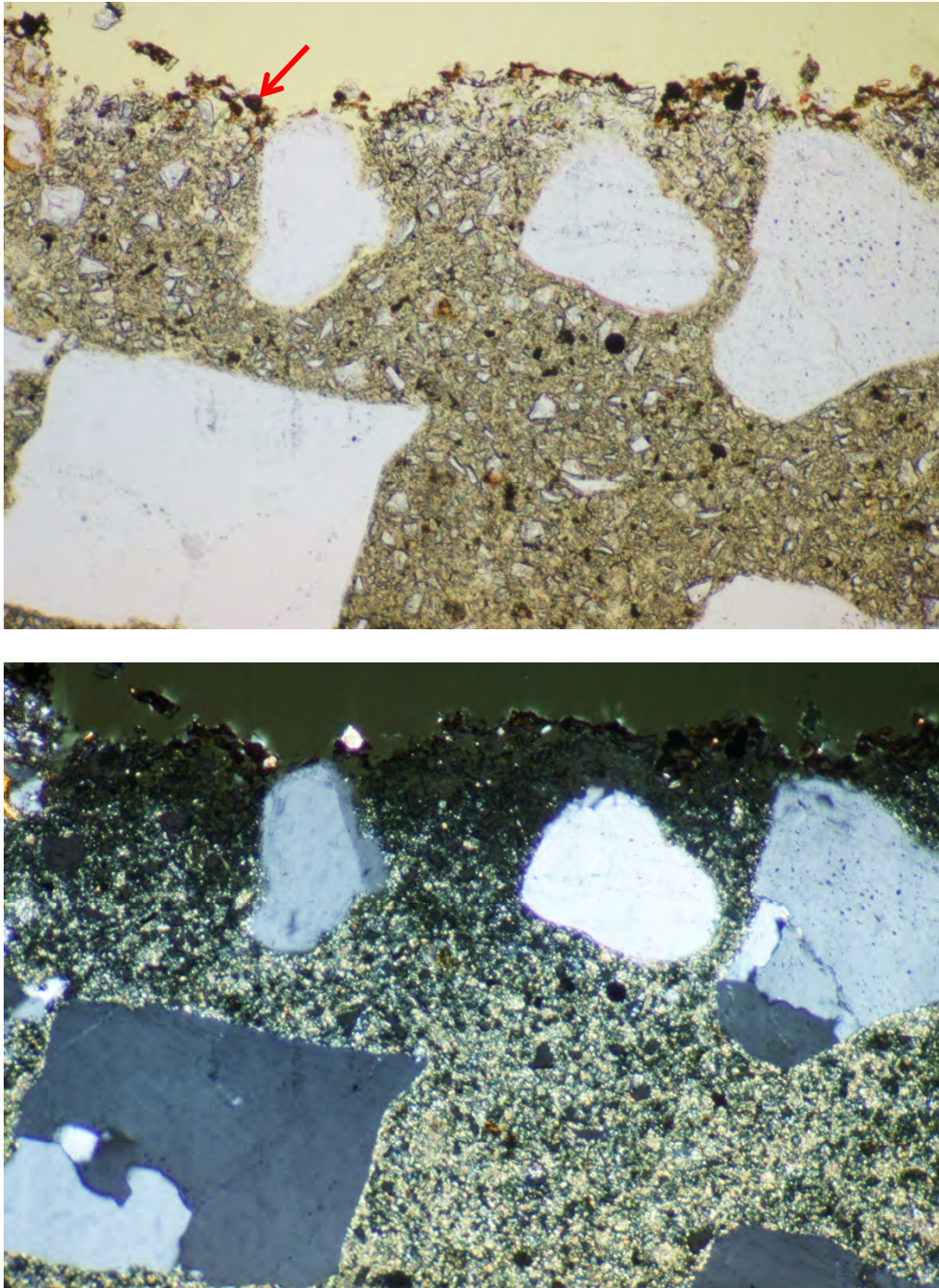


Figure 19: Sample M3-K8A. Thin section photos of surface region recorded in white light (top photo) and in crossed polarized light (bottom) at magnification x100. The surface is uneven and contains brownish biological growth (arrow). The outer 0.1 mm of the cement paste is completely altered/leached (appears dark).

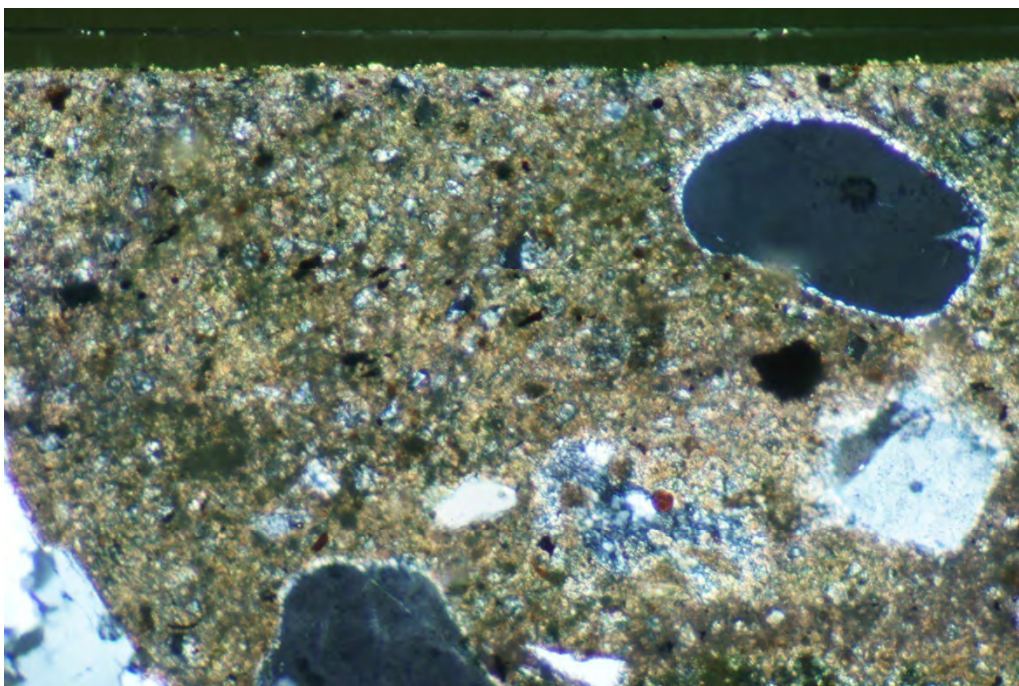
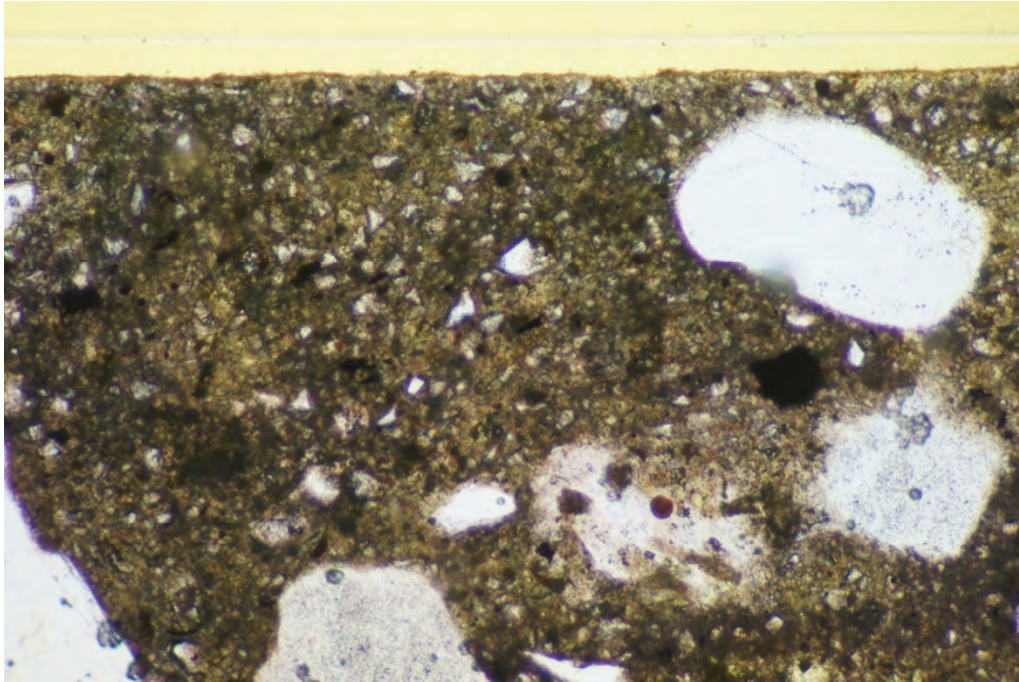


Figure 20: Sample Moot-68-9. Thin section photos of surface region recorded in white light (top photo) and in crossed polarized light (bottom) at magnification x100. The surface is plane and smooth.

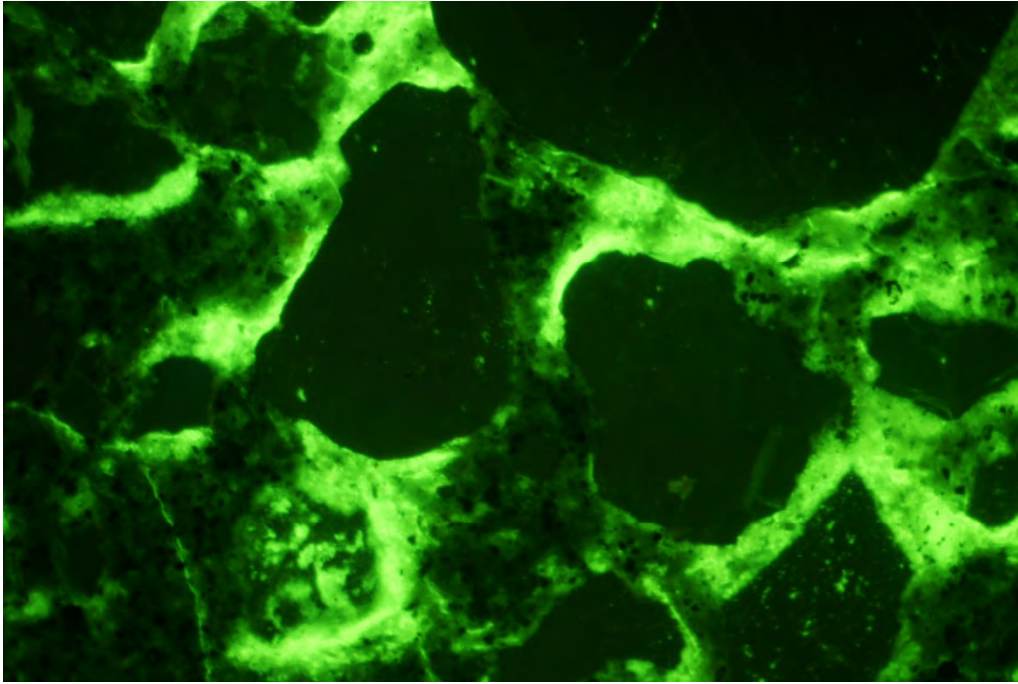


Figure 21: Sample M66-K9 seen in UV-light at magnification x63. The photo shows an area with inhomogeneous cement paste in the bottom thin section.

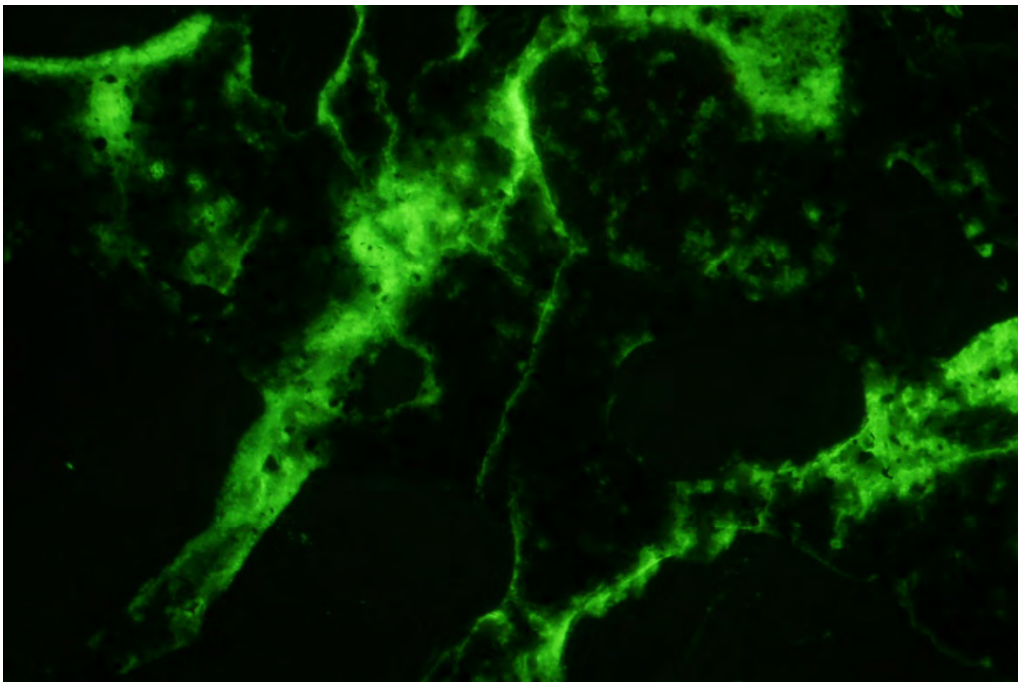


Figure 22: Sample Moot-68-9 seen in UV-light at magnification x63. The photo shows an area with inhomogeneous cement paste in the bottom thin section.

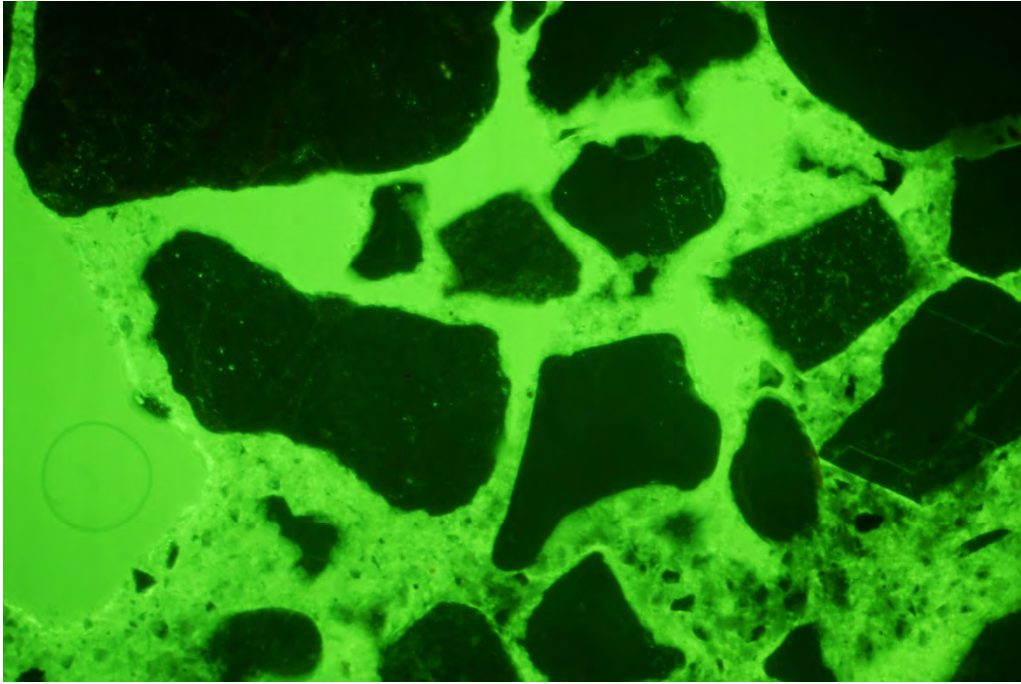


Figure 23: Sample M68-K1 (bottom) seen in UV-light at magnification x63. The photo shows a porous area originating from bleeding.