



Onderzoek Be-Drain rond drainerend beton: van wegfundering naar toplaag

In OCW Newsletter 4 (Boonen et al., 2021) berichtten we reeds over de doelstellingen en eerste resultaten van het prenormatief onderzoek Be-Drain. Nu het project officieel afgelopen is, vatten we hieronder graag de voornaamste bevindingen samen en geven we ook een eerste aanzet tot (bijkomende) technische richtlijnen voor duurzame wegverhardingen met ter plaatse gestort drainerend, al dan niet schraal, beton.



Figuur 1 – Recente toepassing van drainerende betonsamenstellingen op proefvakken in samenwerking met Aquafin en Holcim te Sint-Niklaas

Ter herinnering: context

In het kader van de steeds luidere roep naar een integraler waterbeheer in stedelijke omgevingen, had het project Be-Drain de tweeledige doelstelling om technische richtlijnen, prestatiekenmerken en aangepaste proefmethodes op te stellen voor het zogenaamde drainerende of poreuze beton gebruikt in wegstructuren als fundering of als wegverharding zelf (= toplaag) vanwege:

1. de verhoogde interesse en vraag naar waterdoorlatende wegverhardingen, waaronder ter plaatse gestort poreus beton, waarvoor momenteel nog geen algemene technische voorschriften voorhanden zijn in België;
2. de nood aan een representatieve verdichtingsmethode in het laboratorium voor drainerend schraal beton als wegfundering in het kader van de certificatie (Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten [COPRO], 2019) (Sectorale commissie “hydraulisch gebonden mengsels” bij COPRO).

Om beide gelijkaardige topics te tackelen, was verder onderzoek nodig door OCW (in samenwerking met CRIC-OCCN). Zo konden we bijkomende kennis vergaren over deze poreuze betonmengsels, ook met het oog op toekomstige aanpassingen van de Belgische standaardbestekken voor de wegenbouw. Dit uitgebreide onderzoek vond zowel plaats in het laboratorium als via monitoring van enkele bouwplaatsen met toepassing van drainerend beton, ter validatie van de laboratoriumresultaten.

Laboratoriumonderzoek

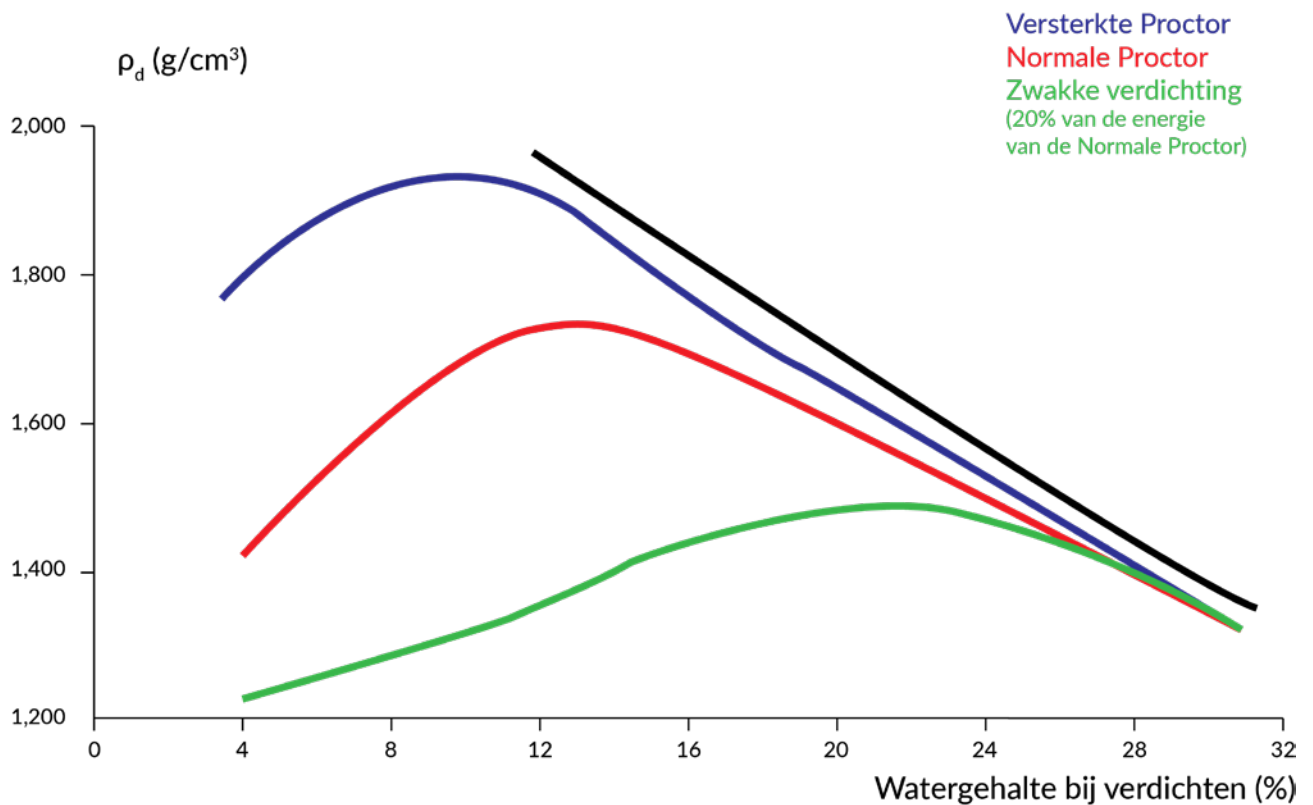
Optimalisatie van studie in het laboratorium

Doel van deze taak was eerst en vooral een **representatieve verdichtingsmethode** in het laboratorium op punt te stellen voor beide types poreuze betonmengsels, en dit als functie van de verdichtingswijze op de bouwplaats (met trilplaat – statische wals – *roller striker*, enz.). Een dergelijke laboratoriummethode zou het mogelijk maken om eisen te stellen als functie van de toepassing (compromis tussen druksterkte k en druksterkte R_c) en om de beoogde prestaties van de mengsels te controleren (Boonen et al., 2021).

Verscheidene verdichtingsmethoden (Proctor – triltafel – trilhamer – kubussen, enz.) werden in het laboratorium vergeleken om de omstandigheden bij uitvoering op de bouwplaats zo goed mogelijk te benaderen.

Daartoe heeft OCW bijvoorbeeld de invloed van het watergehalte op de verwerkbaarheid/vloeibaarheid van het verse, poreuze beton onderzocht via bepaling van zogenaamde “Proctorkrommen” (figuur 2) van de mengsels. Op basis van deze proeven blijkt de meest belovende laboratoriummethode de zogenaamde “verlichte Proctor” (*Proctor allégé*, volgens een aanpassing van NBN EN 13286-2 [Bureau voor Normalisatie (NBN), 2010]) met gebruik van:

- verdichting in 2 lagen;
- massa van 2,5 kg;
- valhoogte $H_c = 305$ mm;
- 56 slagen/laag;
- proctormal B met diameter van ca. 150 mm en hoogte ca. 120 mm.



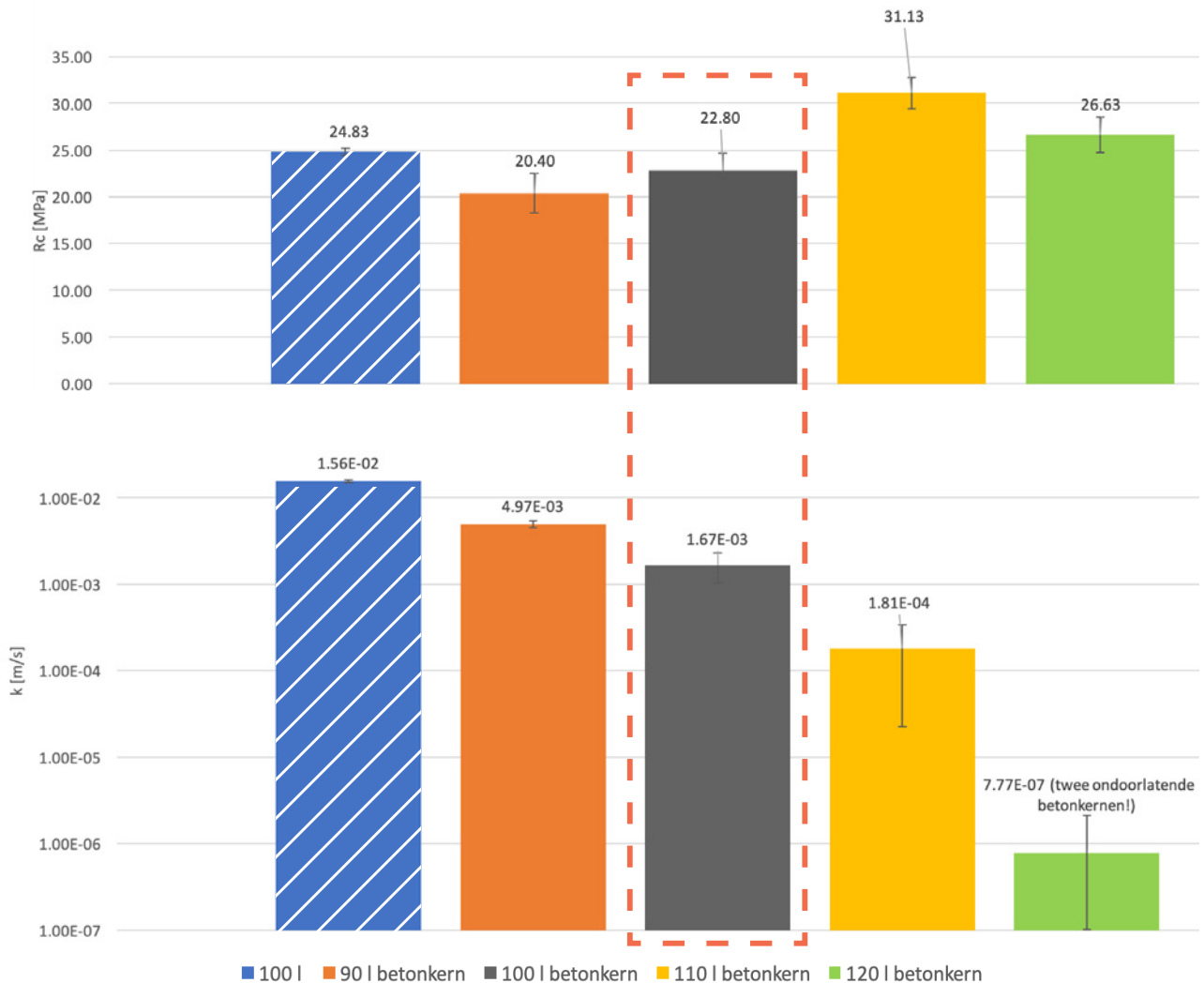
Figuur 2 – Apparatuur voor Proctorverdichting en voorbeeld van Proctorkrommen



Hierbij is het wel belangrijk om kernen met diameter 113 mm uit de gerealiseerde Proctorproefstukken te boren om betrouwbare metingen van de waterdoorlatendheid te bekomen (Boonen et al., 2022). Op die manier kan voor verschillende poreuze betonsamenstellingen de haalbare waterdoorlatendheid en mechanische sterkte (k versus R_c) worden gecontroleerd en kan de invloed van het watergehalte op het verdichten en op de (theoretisch) maximaal haalbare verdichtingsgraad (optimum “Verlichte Proctor”) worden nagegaan. Zo heeft OCW een optimalisatie van verschillende mengsels (Boonen et al., 2021) in het laboratorium uitgevoerd en is het de invloed van verschillende parameters nagegaan, zoals geïllustreerd met het voorbeeld in figuur 3 van een samenstelling voor een drainerende betonnen toplaag (*compo 1*).

Samenstelling 1

480 kg kalksteen 10/14
480 kg kalksteen 6/10
480 kg kalksteen 4/6
250 kg CEM III/A 42,5 N LA



Figuur 3 – Invloed van het watergehalte op resultaten voor mechanische sterkte (R_c) en waterdoorlatendheid (k) in het laboratorium, met “verlichte” Proctorverdichting voor compo 1 naar Boonen et al. (2021)

Voor dit specifieke geval blijkt dat een optimum in druksterkte wordt bereikt bij 110 liter water, terwijl de waterdoorlatendheid systematisch afneemt bij toenemend watergehalte. Globaal genomen wordt voor deze samenstelling (compo 1) een goed compromis verkregen bij 100 l water met:

- gemiddelde druksterkte $R_c \geq 20$ MPa;
- gemiddelde waterdoorlatendheid $k \geq 4 \cdot 10^{-4}$ m/s.

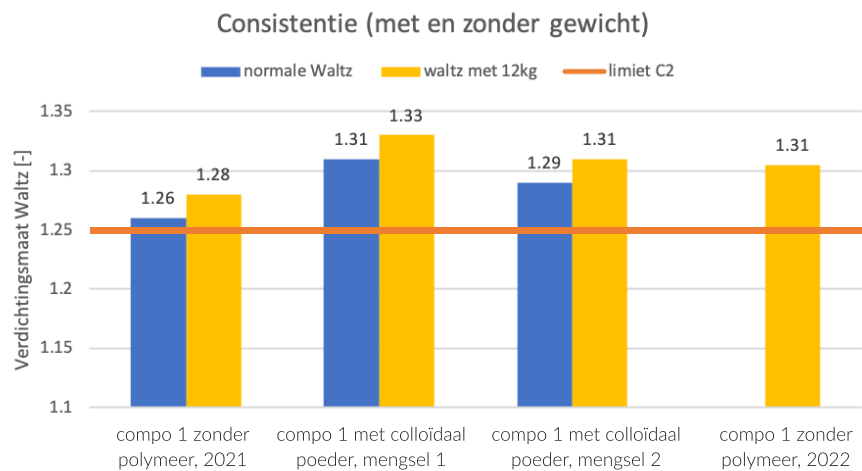
Gelijkaardige resultaten werden ook voor andere mengsels verkregen (Boonen et al., 2022).

Verwerkbaarheid/vloeibaarheid

Naast proeven op het verharde, poreuze beton werden ook metingen uitgevoerd op het verse materiaal ter bepaling van de consistentie en de verwerkbaarheidstijd, die van belang zijn in de praktijk.

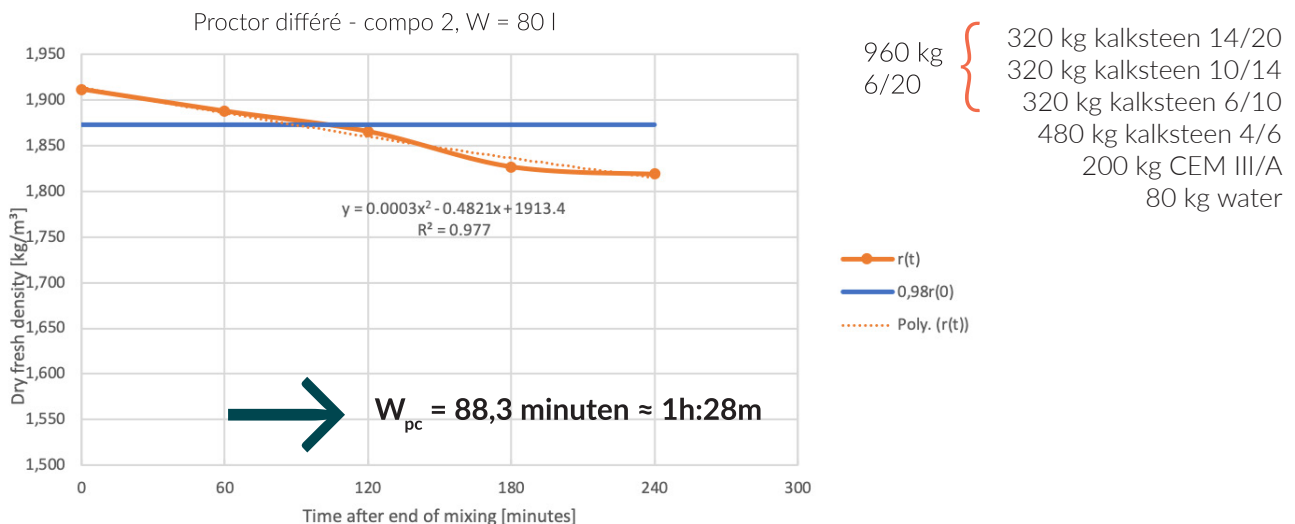
Het onderzoek wees daarbij uit dat de **verwerkbaarheid** van het verse, drainerende beton het best kan worden bepaald via de zogenaamde **Verdichtingsmaat van Waltz** (NBN, 2019), met gebruik van een gewicht van 12 kg om meer herhaalbare en in de tijd reproduceerbare resultaten te verkrijgen (Boonen et al., 2022) zoals geïllustreerd in figuur 4. Een hogere waarde voor de verdichtingsmaat van Waltz wijst daarbij op een droger, aardvochtiger beton.

Daarnaast werd ook getracht de **verwerkbaarheidstijd** (= de beschikbare tijd vanaf het einde van de menging tot binding van het mengsel optreedt) na te gaan door het uitvoeren van de zogenaamde "**Proctor diffé**" (Boonen et al., 2021; NBN, 2004) met gebruik van de "verlichte" Proctorverdichting op verschillende tijdstippen na aanmaak van het poreuze betonmengsel.



Figuur 4 – Proeven ter bepaling van de verwerkbaarheid van poreus beton met aangepaste "Waltz-proef" en het effect van colloïdaal poeder (compo 1)

De verwerkbaarheidstijd (W_{pc}) wordt daarbij gedefinieerd als de tijd waarbij een reductie van 2 % ten opzichte van de initiële droge volumieke massa van het verdichte poreuze betonmengsel wordt geobserveerd (figuur 5). Uit deze metingen blijkt dat het inderdaad goed mogelijk is een inschatting te maken van de **relatieve, beschikbare tijd voor verwerking** (bv. 1 uur en 28 minuten voor *compo 2*) die realistisch en representatief lijkt voor de praktijk.



Figuur 5 – Bepaling van de verwerkbaarheidstijd volgens NBN EN 13286-45 (NBN, 2004) ("Proctor diffé", compo 2)

Bijkomend is ook de **invloed van het gebruik van bepaalde hulpstoffen** (vertragers, plastificeerders, enz.) en/of polymere toevoegsels (figuur 4) die in de praktijk worden toegepast, nagegaan op de vloeibaarheid en de verwerkbaarheidstijd. Het effect van deze hulpstoffen is echter niet eenduidig en blijkt afhankelijk te zijn van zowel de geteste, poreuze betonsamenstelling als de gebruikte dosering (tabel 1). Vooral de methode ter bepaling van de verwerkbaarheidstijd (*Proctor différé*) dient dus **geval per geval** te worden bekeken en is ook zeer gevoelig voor kleine schommelingen in volumieke massa van de verschillende mengsels.

Verwerkbaarheidstijd [minuten]	Zonder hulpstof	Met bindingsvertrager	Met plastificeerder
Compo 1	132,5	101,6	131,4
Compo 2	109,2	233,4	-
Compo 4	88,3	-	74,9

Tabel 1 – Invloed van bindingsvertrager of plastificeerder op berekende verwerkbaarheidstijd van poreuze betonmengsels (compo 1, compo 2 of compo 4)

Invloed van polymere toevoegsels

De invloed van bepaalde polymere toevoegsels (polymere dispersie of colloïdale poeders) is onderzocht op zowel het niveau van de eigenschappen van het verse beton (zie boven) als betreffende de prestaties van het verhard beton. Proeven met een polymere, vloeibare dispersie in een eerste fase werden echter verlaten omdat het gebruikte product niet meer wordt gecommmercialiseerd.

In een tweede fase is het effect van een colloïdaal poeder (toe te voegen aan een hoeveelheid van 1 kg/m³ samen met het cement) bestudeerd, zowel op het vlak van de prestatie-eisen (sterkte versus doorlatendheid en porositeit, voorbeeld in figuur 6) als op de meer functionele eisen zoals de vorst-dooiweerstand of de weerstand tegen rafeling (zie verder).

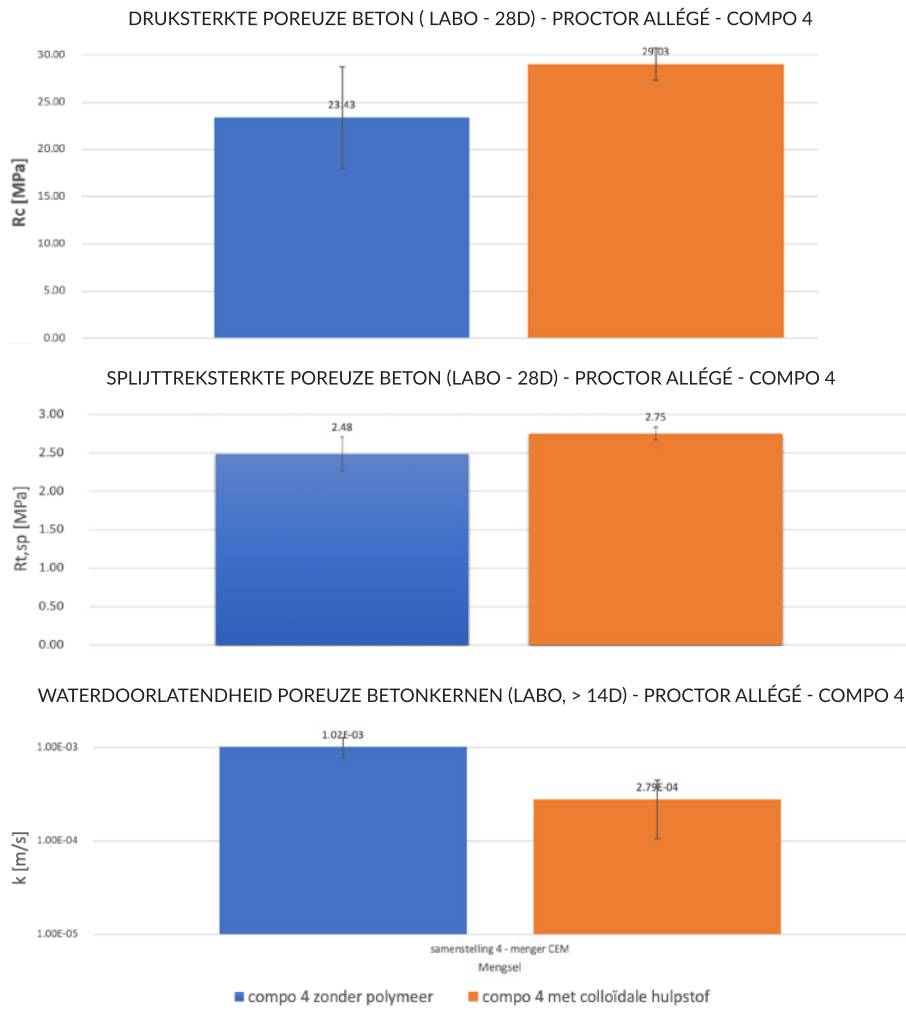
Uit figuur 6 blijkt bijvoorbeeld **het positief effect van het colloïdaal poeder** op de mechanische sterkte (in termen van zowel druksterkte R_c als slijttreksterkte $R_{t,sp}$), terwijl de watertoegankelijke porositeit (n) en de doorlatendheid (k) weliswaar licht afnemen, maar wel nog voldoende zijn.

Dat houdt ook verband met de stijging in volumieke massa die wordt waargenomen, terwijl de vloeibaarheid van het beton ook deels wordt beïnvloed, waardoor het mengsel met colloïdaal poeder **iets minder vloeibaar** wordt (figuur 4, rechts).

Hierdoor kan dus een **mogelijke toegevoegde waarde** worden bekomen, ook op het vlak van andere functionele eigenschappen, met name de vorst-dooiweerstand in aanwezigheid van dooizouten (figuur 8).

Samenstelling 4

915 kg kalksteen 6/10
460 kg kalksteen 4/6
300 kg CEM III/A 42,5 N LA
105 kg water



Figuur 6 – Invloed van colloïdale hulpstof op resultaten voor mechanische sterkte (R_c en $R_{t,sp}$) en waterdoorlatendheid (k) met “verlichte” Proctorverdichting (compo 4 met 105 l water)

Functionele eigenschappen

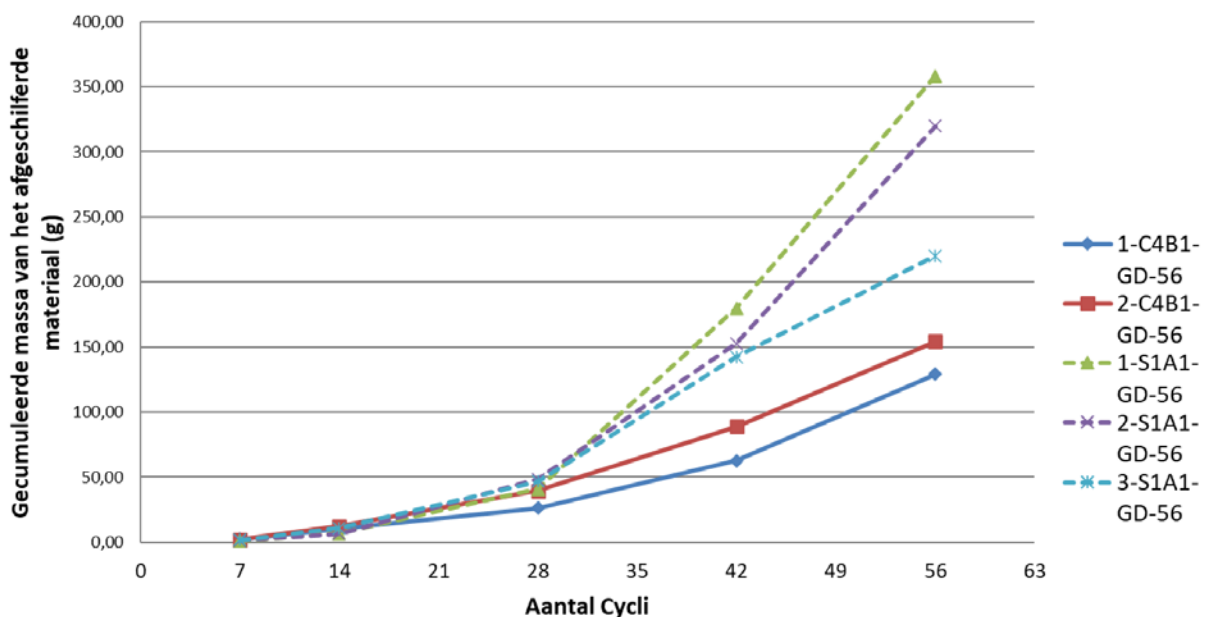
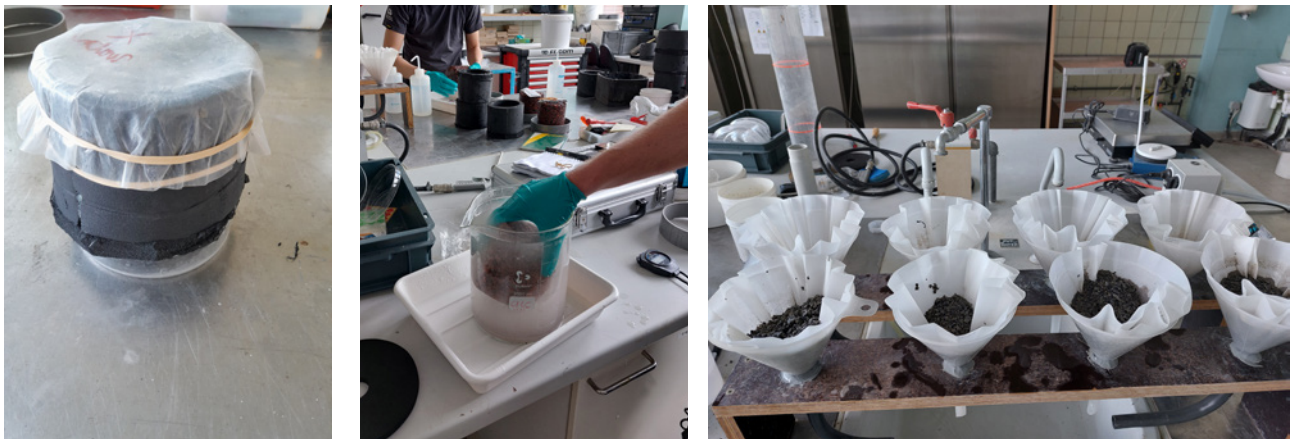
In een andere fase van het laboratoriumonderzoek zijn ook andere, meer functionele vereisten (vorst-dooiweerstand, weerstand tegen rafeling, rijcomfort, enz.) bestudeerd voor de toepassing als wegverharding. Daarbij is een eerste aanzet gegeven tot een proefmethode ter bepaling van de weerstand tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten. Daarnaast zijn ook proeven ter bepaling van de weerstand tegen rafeling (*plumage*) uitgevoerd, waarbij gelijktijdig ook de invloed van het toevoegen van polymere hulpstoffen (colloïdale poeders) op zowel de vorst-dooiweerstand als de rafeling van het poreuze beton is nagegaan.

Vorst-dooiweerstand met dooizouten

Drainerend beton kan gevoelig zijn aan de nefaste inwerking van vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten (Henderson, 2012). Om dat na te gaan, dient echter een

aangepaste proefmethode te worden ontwikkeld vermits de proefmethode voor conventioneel beton (met een laagje zoutoplossing op het bovenvlak) niet kan worden toegepast.

In het onderzoek Be-Drain kon een eerste aanzet tot proefmethode worden gegeven, op basis van onderdompeling van de cilindrische proefstukken gedurende een bepaalde tijd (1 minuut) in een zoutoplossing alvorens ze telkens opnieuw bloot te stellen aan een aantal vorst-dooicycli volgens CEN/TS12390-9 (NBN, 2016) (bv. na 7, 14, 28 of meer cycli), zoals geïllustreerd in figuur 7.

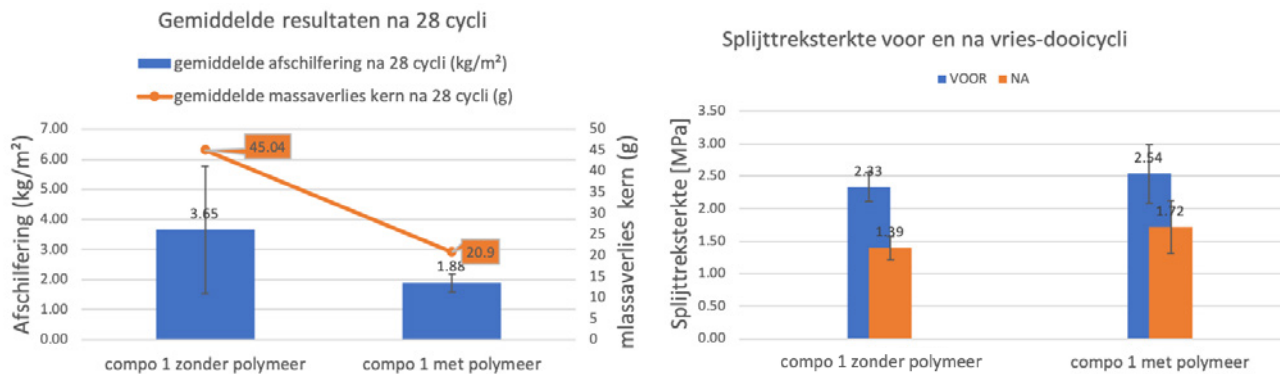


Figuur 7 – Illustratie van voorgestelde proefmethode ter bepaling van de weerstand tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten voor poreus beton, en voorbeeld van afschilferingscycli voor compo 1 (met colloïdaal poeder = S1A1) en compo 4 (zonder hulpstof = C4B1)

De weerstand kan daarbij worden bepaald via meting van de gecumuleerde, afgeschilferde massa enerzijds (in kg/m^2 , figuur 7 onderaan) of het massaverlies van de droge kern voor en na vorst-dooicycli (in g of procentueel, figuur 8) anderzijds. Daarnaast kan bepaling van de slijttreksterkte na vorst-dooicycli en het bijbehorende verlies in sterkte ook een goede maat leveren voor de vorst-dooiweerstand. Vanwege de strengheid van deze proefmethode is het wel aangewezen de proef te stoppen na 28 cycli. Een samenvatting van enkele resultaten ter bepaling van de weerstand tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten is getoond in figuur 8, voor de gemiddelde afschilfering (in kg/m^2) en het gemiddeld massaverlies (in g en %),

het gemiddelde verlies in slijttreksterkte (in %) en de absolute slijttreksterkte (in MPa) voor en na vorst-dooicycli.

Hieruit blijkt duidelijk het **positieve effect van het colloïdaal poeder** (zie boven) op de vorst-dooiweerstand, **maar** ook de **enorme variatie** die wordt verkregen met deze proefmethode ter bepaling van de vorst-dooiweerstand met dooizouten.



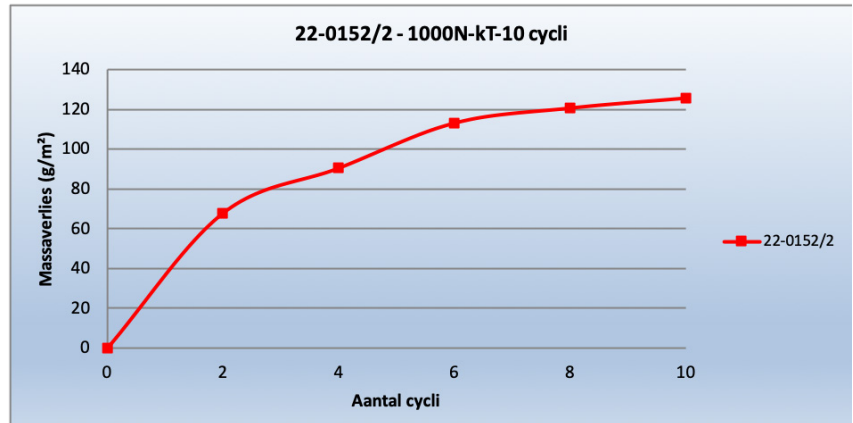
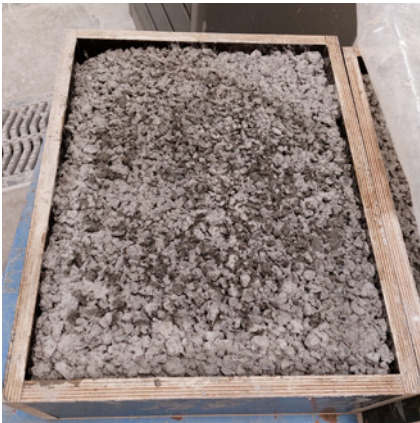
Figuur 8 – Samenvatting van resultaten ter bepaling van de weerstand tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten voor compo 1, met en zonder toevoeging van colloïdale hulpstof (polymeer)

Als besluit kunnen we stellen dat een **eerste aanzet tot proefmethode** ter bepaling van de vorst-dooiweerstand is gegeven in het huidig prenormatief onderzoek. Toekomstig onderzoek is echter nodig om deze methodologie **te valideren** en mogelijk ook limieten voor het massaverlies en/of het verlies in sterkte op te stellen. Men kan zich echter ook de vraag stellen of het toepassen van al te veel dooizouten opportuun is op waterdoorlatende wegstructuren met mogelijke doorsijpeling naar de ondergrond.

Rafelingsproeven

Gezien het open karakter van drainerend beton, is dit materiaal mogelijk ook gevoeliger voor het loskomen van steentjes aan het oppervlak bij al te veel wringend verkeer. Daartoe werd deze zogenaamde **rafelingsweerstand** ook onderzocht via een proefmethode voorzien voor asfaltverhardingen (Annex B van CEN/TS 12697-50 [NBN, 2018]) waar de massaverliezen voor poreus beton zijn bestudeerd (figuur 9).

Daarbij zijn ook verschillende testcondities toegepast: “standaardcondities” (1000 N – 10 cycli) en “strengere” condities (2000 N – 50 cycli). De resultaten kunnen bijvoorbeeld worden vergeleken met de limietwaarde van 300 g/m² die wordt gehanteerd voor dunne, geluidsarme asfaltlagen (AGT) in het Vlaamse SB 250 (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2021, Hoofdstuk 14-5.5-2-2.1).



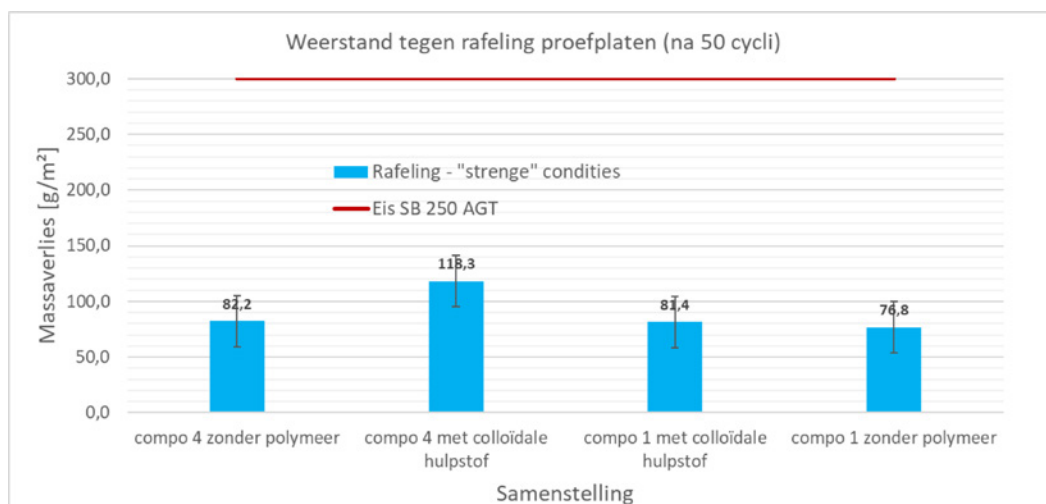
Figuur 9 – Eerste rafelingsproeven uitgevoerd op poreuze betonplaten (compo 4 zonder polymeer) en voorbeeld van het geobserveerde massaverlies

Uit de preliminaire proeven bleek daarbij dat men het best **enkel de bovenkant van proefplaten aangemaakt op de triltafel kan testen**, en dat **enkel testen onder de strengere condities (2000 N – 50 cycli) al voldoende** is om de weerstand tegen rafeling van poreuze betonmengsels te kunnen inschatten.

De finale resultaten bij de strenge condities worden getoond in figuur 10 en hieruit blijkt dat **alle geteste poreuze betonsamenstellingen in het laboratorium een goede weerstand** tegen rafeling vertonen, onafhankelijk van het al dan niet toevoegen van de colloïdale hulpstof.

Bovendien zijn bij de in situ validatie (zie verder) ook twee commerciële mengsels getest op hun rafelingsgevoeligheid. Hier bleek dat het best presterende mengsel eveneens een goede weerstand vertoonde, zodat we geen problemen qua rafeling onder invloed van verkeer verwachten voor de drainerende betonmengsels, indien uitgevoerd volgens de regels van de kunst en binnen een correct toepassingsgebied.

Naast rafeling en vorst-dooiweerstand kunnen nog andere functionele eigenschappen relevant zijn als functie van de beoogde toepassing, met name de vlakheid, de stroefheid of de slijtweerstand. De stroefheid (vanuit veiligheidsoogpunt) zou normaal geen probleem mogen vormen. Enkele vlakheidsmetingen werden uitgevoerd op een bouwplaats in Ukkel (zie verder).

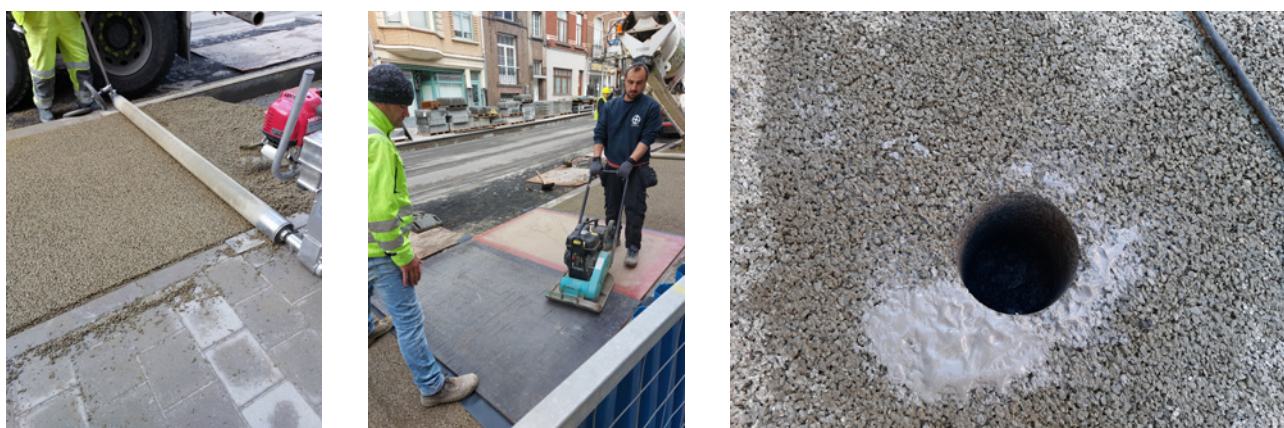


Figuur 10 – Resultaten van de rafelingsproeven wat betreft gecumuleerd massaverlies: na 50 cycli (enkel "streng" condities) voor alle beproefde samenstellingen van poreus beton

In situ validatie

Naast de laboratoriumproeven werden ook verschillende bouwplaatsen met drainerend beton gemonitord door middel van verschillende prestatieproeven ter validatie en correlatie van de resultaten verkregen in het laboratorium, zie bijvoorbeeld (Boonen et al., 2022).

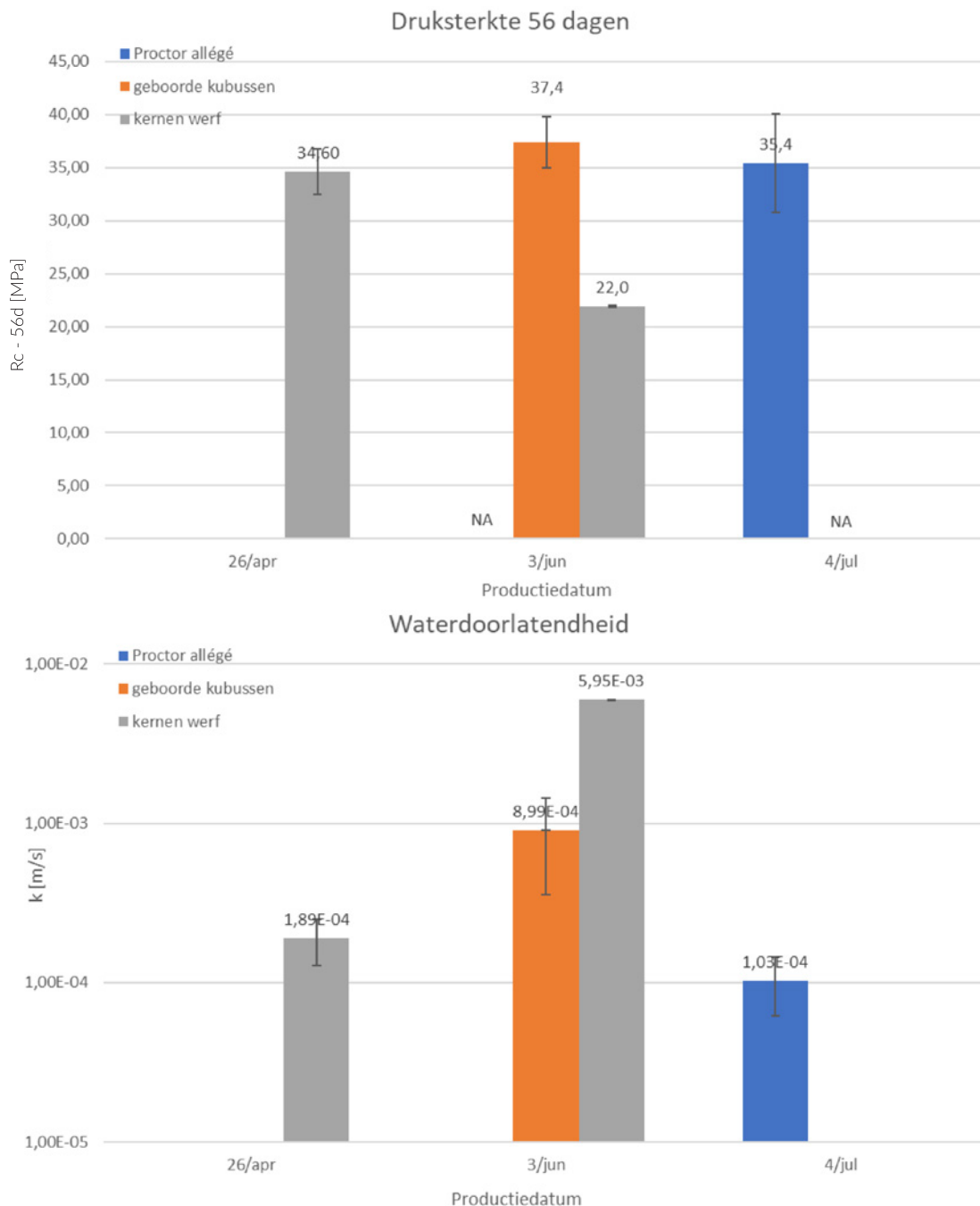
Hier geven we ten eerste het voorbeeld van een fietspad in drainerend beton, aangelegd in Ukkel (Alsembergesteinweg) waarbij ook stalen van het verse beton zijn genomen tijdens de verschillende fasen van de uitvoering, in combinatie met kernboringen uit de verharding zelf (figuur 11). De verdichting gebeurde hier in twee fasen: eerste verdichting en verspreiding van het materiaal met een *roller-striker*, gevolgd door een verdichting met de trilplaat van de aanwezige overdikte¹.



Figuur 11 – Verdichting van drainerend beton voor een fietspad in Ukkel met monitoring via laboratoriumproeven en kernboringen in de verharding

¹ Door toepassing van metalen latjes met een dikte van ca. 1 cm op de boordstenen tijdens het gebruik van de rol.

De vergelijking van de resultaten voor druksterkte en doorlatendheid, enerzijds bekomen op kernen uit de verharding zelf en anderzijds via proefstukken aangemaakt in het laboratorium met de verlichte Proctorverdichting, wordt getoond in figuur 12.



Figuur 12 – Resultaten voor het verharde poreuze beton van het fietspad in Ukkel (laboratorium versus bouwplaats)

Hieruit blijkt een daling van de druksterkte en een stijging van de doorlatendheid tussen twee fasen (26/4 en 3/6/2022) door een verandering in het mengselontwerp van het beton. De daling in druksterkte ging desalniettemin gepaard met een betere oppervlakafwerking, zoals ook visueel vastgesteld ter plaatse. Nadien zijn er vlakheidsmetingen uitgevoerd met de fietspadprofilometer (FPP) van OCW (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw [OCW], 2023) die dat ook bevestigden.

De resultaten voor de proefstukken aangemaakt in het laboratorium (via getrilde kubussen of met de verlichte Proctor, vertrekkende van het verse beton bemonsterd op de dag van uitvoering) geven een hogere sterkte (> 35 MPa) en lagere doorlatendheid (10^{-4} m/s) dan de kernen verkregen voor hetzelfde materiaal. Anderzijds zijn de resultaten voor de verlichte Proctor van 4/7/2022 wel zeer goed vergelijkbaar met de kernen van 26/4/2022. Finaal kunnen we, ondanks de soms grote variatie in resultaten, wel besluiten dat **voor alle "kernen van de bouwplaats" in Ukkel** geldt dat:

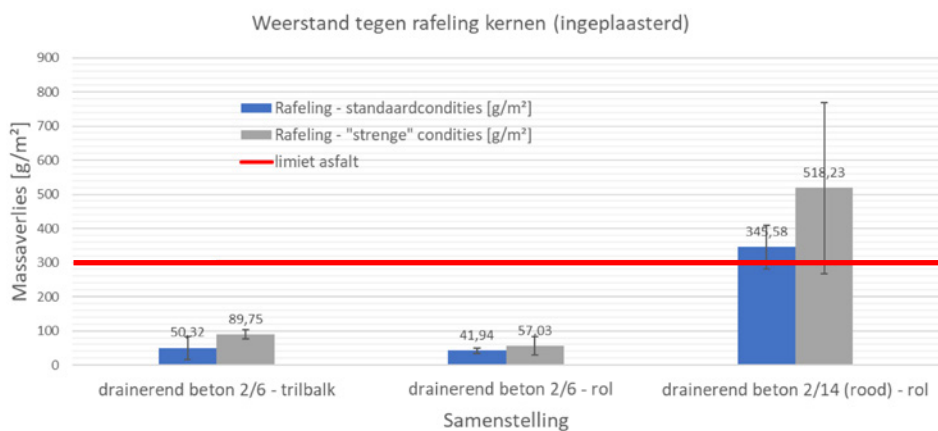
- gemiddelde druksterkte $R_{c,avg} \geq 20$ MPa;
- gemiddelde waterdoorlatendheid $k_{avg} \geq 1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Voor sommige bouwplaatsen werden ook de functionele eigenschappen bestudeerd, zoals de rafelingsweerstand, bijvoorbeeld bij de uitvoering van enkele proefvakken met drainerend beton in Gent (figuur 13). De rafelingsproeven zijn hier – in tegenstelling tot de laboratoriummengsels – niet uitgevoerd op rechthoekige proefstukken, maar op kernen met grotere diameter (22 cm) die nadien zijn ingegipst om een proefplaat te kunnen bevestigen in de meetopstelling (figuur 13a). De gemiddelde resultaten (voor drie kernen per mengsel) zijn weergegeven in figuur 13b.

a)



b)



Figuur 13 – Rafelingsproeven uitgevoerd op de proefstukken van Gent: a) ingegipste kernen voor het aanmaken van een proefplaat; b) gemiddelde resultaten voor massaverlies als functie van maximaal aantal cycli (standaard- en strenge condities)

De strengere testcondities (cf. laboratoriumproeven voorheen) zijn daarbij beter om de weerstand tegen rafeling te kunnen onderscheiden. Uit de resultaten blijkt duidelijk dat het mengsel met kleinere korrelmaat ($D_{\max} = 6$ mm) beter bestand is tegen rafeling dan het grovere beton ($D_{\max} = 14$ mm), dat niet meer voldoet aan de limietwaarde voor AGT-asfaltmengsels (< 300 g/m²). Ook **blijkt de afwerking van het oppervlak (met een trilbalk of een rol) een invloed** uit te oefenen op de gemiddelde rafelingsweerstand, maar het verschil is niet heel significant gezien de spreiding.

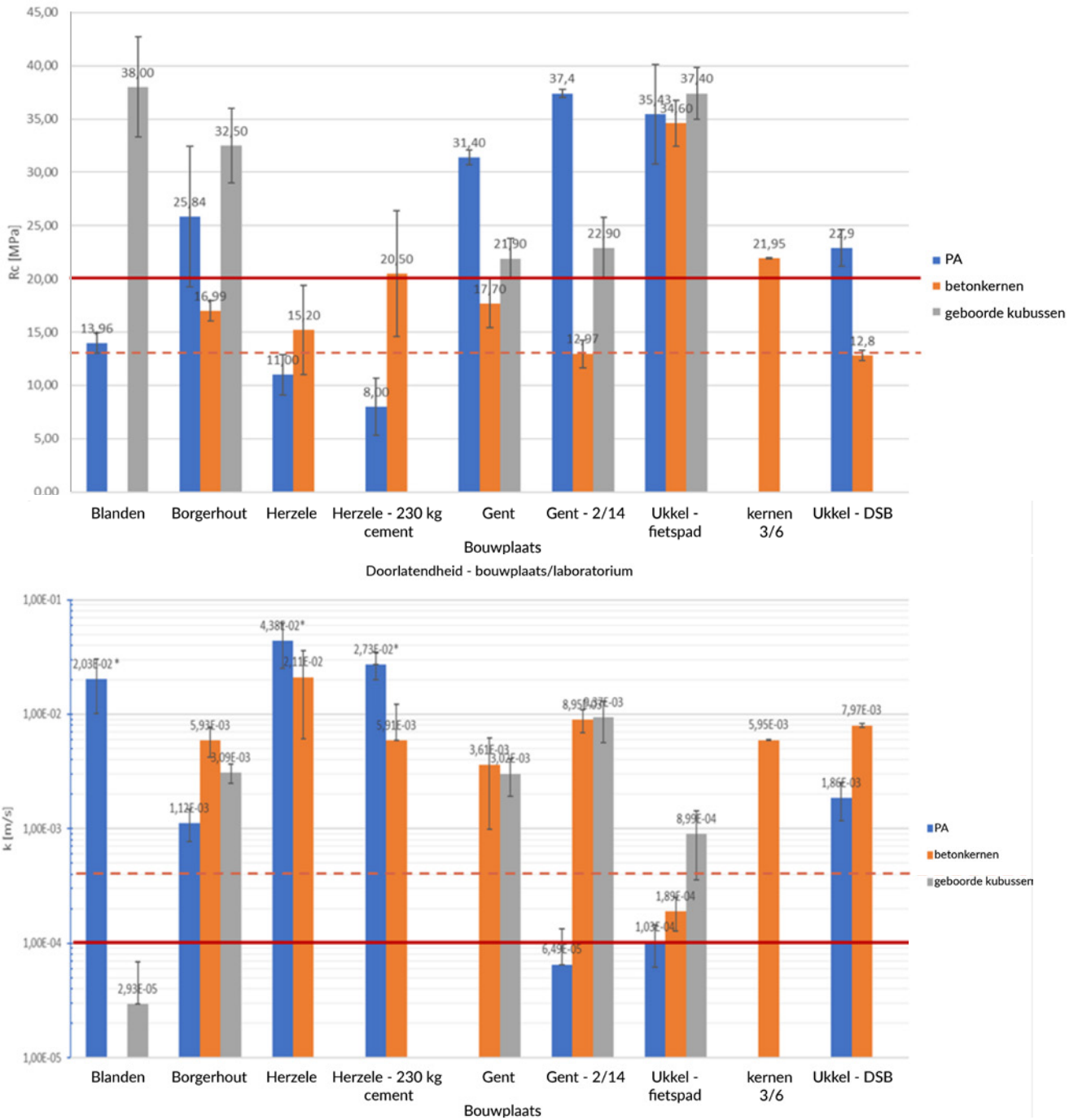
Globaal zijn alle resultaten bekomen op bouwplaatsen (Boonen et al., 2021; 2022) ook verder geanalyseerd om de correlatie te bestuderen tussen verdichting in het laboratorium (met de *Proctor allégé* = PA, en/of geboorde kubussen) enerzijds, en verdichting op de bouwplaats zelf (geboorde kernen uit de verharding = betonkernen) anderzijds. Dat wordt getoond in figuur 14, waarbij de rode stippellijnen overeenkomen met de huidige eisen voor drainerend **schraal beton** ($R_{c,avg} \geq 13$ MPa; $k_{ind} \geq 4 \cdot 10^{-4}$ m/s). De rode volle lijnen betreffen mogelijke eisen voor poreuze **betonverhardingen** ($R_{c,avg} \geq 20$ MPa; $k_{avg} \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s). De bouwplaatsen met toepassing van drainerend schraal beton (DSB) zijn deze in Herzele en Ukkel (als fundering onder de waterdoorlatende bestrating). Waarden met een asterisk (*) betreffen bovendien metingen van de doorlatendheid op niet-geboorde Proctor-proefstukken, waarvan de betrouwbaarheid in twijfel kan worden getrokken (zie boven en [Boonen et al., 2022]).

Op basis van al deze resultaten kunnen we stellen dat:

- verdichting volgens de verlichte Proctor (PA) het meest belovend blijft om waarden in situ te kunnen voorspellen, **zeker in geval van drainerend schraal beton**;
- **poreuze betonmengsels voor toplagen veel variatie**² kunnen vertonen, als functie van de gebruikte samenstelling en de toegepaste verdichtingstechnieken;
- de **huidige eisen voor drainerend schraal beton zeker haalbaar** zijn bij gepaste verdichting op de bouwplaats;
- **het niet altijd duidelijk is welke verdichtingsmethodes of uitvoeringstechnieken nodig zijn om bepaalde prestatie-eisen te bereiken.**

2 De verlichte Proctor-verdichting (*Proctor allégé*) blijkt bijvoorbeeld ook niet altijd toepasbaar voor de meestal fijnere, drainerende betonsamenstellingen voor toplagen, waarbij soms ondoorlatende proefstukken worden verkregen.

Druksterkte 28/56d - bouwplaats / laboratorium



Figuur 14 - Correlatie tussen de resultaten in het "laboratorium" (PA of geboorde kubussen) en op de bouwplaats (betonkernen) voor alle in het project Be-Drain gemonitorde bouwplaatsen: druksterkte (R_c - boven) en doorlatendheid (k - onderaan). De rode stippellijnen stemmen overeen met de huidige grenswaarden voor drainerend schraal beton ($R_{c,avg} \geq 13$ MPa ; $k_{ind} \geq 4 \cdot 10^{-4}$ m/s), de volle rode lijnen met de mogelijke grenswaarde voor poreus beton in de verharding ($R_{c,avg} \geq 20$ MPa; $k_{avg} \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s); * = Proctors zonder kernboring voor doorlatendheidsproeven

Conclusies en perspectieven

Drainerend (al dan niet schraal) beton blijft een veelbelovende oplossing als puzzelstuk binnen een duurzaam en integraal waterbeheer voor onze stedelijke, bebouwde omgeving.

Binnen het prenormatief onderzoek Be-Drain werd bijkomende ervaring opgedaan met dit innovatieve materiaal, en op basis van de resultaten kunnen bijkomende technische richtlijnen worden opgesteld voor het poreuze beton, om de toepassing te verruimen van funderingen (het gekende drainerend schraal beton) naar toplagen en wegverhardingen. De belangrijkste conclusies voor de verschillende domeinen van het project worden hieronder samengevat.

Optimalisatie in het laboratorium

Hierbij kunnen volgende conclusies worden getrokken:

- Verdichting met de zogenaamde **verlichte Proctor** (*Proctor allégé*) blijft het meest belovend om de prestaties van het poreuze beton te voorspellen en de eigenschappen te optimaliseren in het laboratorium, vooral voor drainerend schraal beton;
- Proefmethoden ter bepaling van de vloeibaarheid en de **verwerkbaarheid** werden op punt gesteld:
 - Waltz-proef (verdichtingsmaat) met een gewicht van 12 kg voor de verwerkbaarheid;
 - “Proctor différé” geeft een maat voor de verwerkbaarheidstijd (geval per geval);
- Het mogelijke **effect van polymere hulpstoffen of toevoegsels** werd uitgeklaard, zowel wat het verse als het verharde poreuze beton betreft, met een duidelijke toegevoegde waarde voor de bestudeerde colloïdale hulpstof;
- Voor de methode ter bepaling van de waterdoorlatendheid in het laboratorium (Service Public de Wallonie [SPW], Qualité & Construction, 2021; Vlaamse Overheid, 2021) wordt de waterdruk het best beperkt tot $\Delta z \leq 4$ cm en de proef uitgevoerd op betonkernen (113 mm) geboord uit de Proctorproefstukken.
- Wat betreft de meer **functionele eigenschappen** is:
 - een eerste aanzet tot proefmethode ter bepaling van de vorst-dooiweerstand in aanwezigheid van dooizouten gegeven;
 - de proefmethode voor de bepaling van de weerstand tegen rafeling gebruikt voor asfaltverhardingen in België, gevalideerd voor toepassing op drainerende betonverhardingen.

Validatie op de bouwplaats

Wat de correlatie tussen resultaten in het laboratorium en deze verkregen op de bouwplaats betreft, blijkt de PA-verdichting nog altijd het best te scoren, ondanks de **grote mogelijke variabiliteit met deze poreuze betonmengsels** en het feit dat deze niet altijd toepasbaar is op drainerende betonsamenstellingen voor toplagen.

Het is echter (nog) niet altijd duidelijk welke verdichtingsmiddelen en/of technieken toegepast moeten worden op de bouwplaats om bepaalde, beoogde prestatie-eisen te behalen in situ:

- voor het **drainerend schraal beton** blijken de huidige eisen in principe wel haalbaar te zijn bij aangepaste uitvoeringstechnieken: $R_{c,avg} \geq 13$ MPa, $R_{c,ind} \geq 10$ MPa; $k_{ind} \geq 4,0 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- Voor het **poreuze beton voor wegverhardingen** kunnen – onder voorbehoud van verder onderzoek – als functie van de verkeersbelasting mogelijk volgende eisen worden opgelegd:
 - $R_{c,avg} \geq 18$ of 20 MPa; $R_{c,ind} \geq 15$ of 17 MPa – $R_{t,sp} \geq 1,8$ of 2,0 MPa³
 - $k_{avg} \geq 1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s; $k_{ind} \geq 5,0 \cdot 10^{-5}$ m/s

3 De waarde voor de splijttreksterkte is gebaseerd op de algemene correlatie die blijkt te bestaan tussen de druksterkte en splijttreksterkte voor poreus beton, zoals bekomen uit de resultaten in Be-Drain; hieruit blijkt de 10 %-regel voor klassiek beton ook gevalideerd/bevestigd te zijn voor drainerend beton.

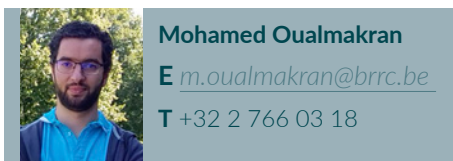
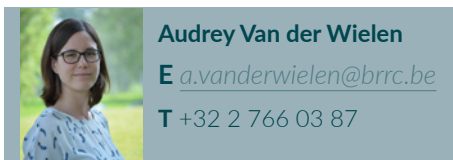
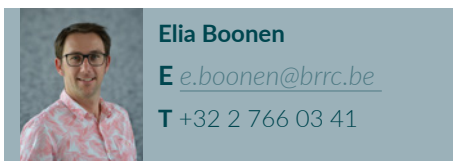
Alleszins is wel duidelijk dat er **in de toekomst nog verder onderzoek** nodig zal zijn, met ook **monitoring van bijkomende proefbouwplaatsen** (figuur 15) om een aantal punten meer in detail te bestuderen en de toepassing van drainerend beton bijkomend te stimuleren. Daarbij zou er voornamelijk aandacht moeten zijn voor de functionele eigenschappen van drainerende betonverhardingen (inclusief vlakheid en comfort voor de gebruiker) en validatie van de laboratoriumresultaten met metingen in situ, en de duurzaamheid op langere termijn, zowel wat mechanische eigenschappen betreft als op hydraulisch vlak.



Figuur 15 – De meest recent gemonitorde uitvoering van drainerend beton op een fietspad te Neder-Over-Heembeek, met toepassing van een asfaltspreidmachine gevolgd door afwalsen

Dankbetuiging

De auteurs bedanken de FOD Economie en NBN voor de financiële steun van het project Be-Drain, onderzoekspartner CRIC-OCCN voor de constructieve samenwerking, Febelcem voor de follow-up van het onderzoek alsook de verschillende partijen betrokken bij de proefbouwplaatsen en/of bij de levering van materialen in het laboratoriumonderzoek (onder andere Holcim, Interbeton, CBR, CCB, Sika Belgium, Roos Groep, Superbeton, Willemen Infra, Colas Belgium, O.B.B.C, Wegenwerken De Moor, Brussel Mobiliteit, Aquafin, Frédéric Fontaine).



Literatuur

Boonen, E., Van der Wielen, A. & Oualmakran, M. (2021). Drainerend (schraal) beton voor duurzame wegverhardingen: Eerste resultaten van het “Be-Drain” project. OCW newsletter, (04). <https://brrc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/drainerend-schraal-beton-duurzame-wegverhardingen-eerste-resultaten>

Boonen, E., Van der Wielen, A. & Oualmakran, M. (2022). Projet prénormatif belge Be-Drain: Béton drainant à l'étude pour des revêtements routiers durables. *Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA)*, (991), 50-55.

Bureau voor Normalisatie (NBN). (2004). *Ongebonden en hydraulisch gebonden mengsels. Deel 45: Beproevingmethode voor de bepaling van de verwerkbaarheidsperiode van hydraulisch gebonden mengsels* (NBN EN 13286-45). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=199554&p40_language_code=nl&p40_detail_id=26104&session=19043336547082

Bureau voor Normalisatie (NBN). (2010). *Ongebonden en hydraulisch gebonden mengsels. Deel 2: Beproevingmethoden voor het bepalen van de laboratoriumreferentiedichtheid en het watergehalte: Proctorverdichting* (NBN EN 13286-2). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=199562&p40_language_code=nl&p40_detail_id=61580&session=19043336547082

Bureau voor Normalisatie (NBN). (2016). *Testen van uitgehard beton. Deel 9: Vorst-dooibestendigheid met dooizouten: afschilfering* (CEN/TS 12390-9). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=212805&p40_language_code=nl&p40_detail_id=79363&session=19043336547082

Bureau voor Normalisatie (NBN). (2018). *Bitumineuze mengsels: Testmethoden. Deel 50: Weerstand tegen rafeling* (CEN/TS 12697-50). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=225446&p40_language_code=nl&p40_detail_id=83568&session=19043336547082

Bureau voor Normalisatie (NBN). (2019). *Beproeving van betonspecie. Deel4: Verdichtingsmaat* (NBN EN 12350-4). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=222380&p40_language_code=nl&p40_detail_id=90092&session=19043336547082

- Henderson, V. (2012). *Evaluation of the performance of pervious concrete pavement in the Canadian climate* [Doctoral thesis]. University of Waterloo, Ontario, Canada. <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/6686>
- Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten (COPRO). (2019). *Celebrating 35 years on the road: Activiteitenverslag 2018*. <https://www.copro.eu/nl/activiteitenrapport>
- Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW). (2023). *Instrumenten voor wegbeheerders. Steekkaart 3: FPP: Meting van de langsvlakheid van fietspaden*. (OCW Synthese No. SN 48, rev. 2, steekkaart 3). <https://brrc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/fpp-meting-langsvlakheid-fietspaden>
- Service Public de Wallonie (SPW), Qualité & Construction. (2021). *Cahier des charges type qualiroutes* (Geconsolideerde versie 2021 [en de daaropvolgende aanpassingen]). http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/frame.jsp?index_cctquali.html
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). (2021). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw (versie 4.1a)*. https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten?search_api_fulltext_1=%22standaardbestek%20250%20versie%204.1a%22&documents%5B0%5D=type_document%3Astandaardbestek