



Nieuwe materialen voor duurzame en “groene” wegconstructies – “Natuurlijk” gebonden halfverhardingen

Inleiding

In het kader van een beter waterbeheer (voorkoming van overstromingen, instandhouding van waterhoudende grondlagen, ontlasting van het rioolstelsel, enz.) wordt de voorkeur gegeven aan waterdoorlatende structuren voor wegverhardingen met weinig verkeer, zoals trottoirs, fietspaden, pleinen, enz. (Gendera, 2017). In dezelfde context worden er meer groene ruimten in de stedelijke gebieden gecreëerd, met inbegrip van aanplantingen en bomen (11 onthardingprojecten, 2023).

In het kader van het prenormatief onderzoeksproject NoMaVert (Grégoire et al., 2021) bestudeerde OCW twee soorten materialen om aan deze behoeften te voldoen: “natuurlijk” gebonden halfverhardingen, die bestaan uit granulaatmengsels behandeld met natuurlijke bindmiddelen, en bomengranulaten, die bestaan uit een mengsel van granulaten en grond.

Tijdens dit onderzoek hebben we de prestaties van deze materialen bestudeerd in het laboratorium en op het terrein, met het oog op het opstellen van voorschriften en aanbevelingen in de Belgische standaardbestekken en eventueel in toekomstige Europese normen.

Dit artikel presenteert de belangrijkste resultaten van het onderzoek in verband met **halfverhardingen**. Het bevat de belangrijkste conclusies en stelt specificaties voor het verkrijgen van een duurzame verharding voor. De eerste resultaten werden al gedeeltelijk gepubliceerd (Grégoire et al., 2021, 2022).

Selectie van materialen

Zes materialen (M) werden in het laboratorium gekarakteriseerd. Ze waren afkomstig van vier verschillende leveranciers (F). We vermelden ze als:

- F_1 : het bindmiddel is een biopolymeer van plantaardige oorsprong;
- F_2 - M_1 : het bindmiddel is mineraal, maar niet op cementbasis;
- F_2 - M_2 : het mengsel is niet gebonden, maar wordt in België veel gebruikt;
- F_3 - M_1 en F_3 - M_2 : het bindmiddel is van plantaardige oorsprong;
- F_4 : het mengsel is niet gebonden, maar wordt in België gebruikt.

De granulaten van mengsels F_1 en F_3 werden afzonderlijk geleverd. De proeven die zijn uitgevoerd op F_4 zijn beperkter, omdat dit materiaal pas aan het eind van het onderzoek in aanmerking werd genomen.

Laboratoriumproeven

Karakterisering van mengsels en/of granulaten

De karakterisering van de mengsels en/of granulaten kwam aan bod in (Grégoire et al., 2021, 2022).

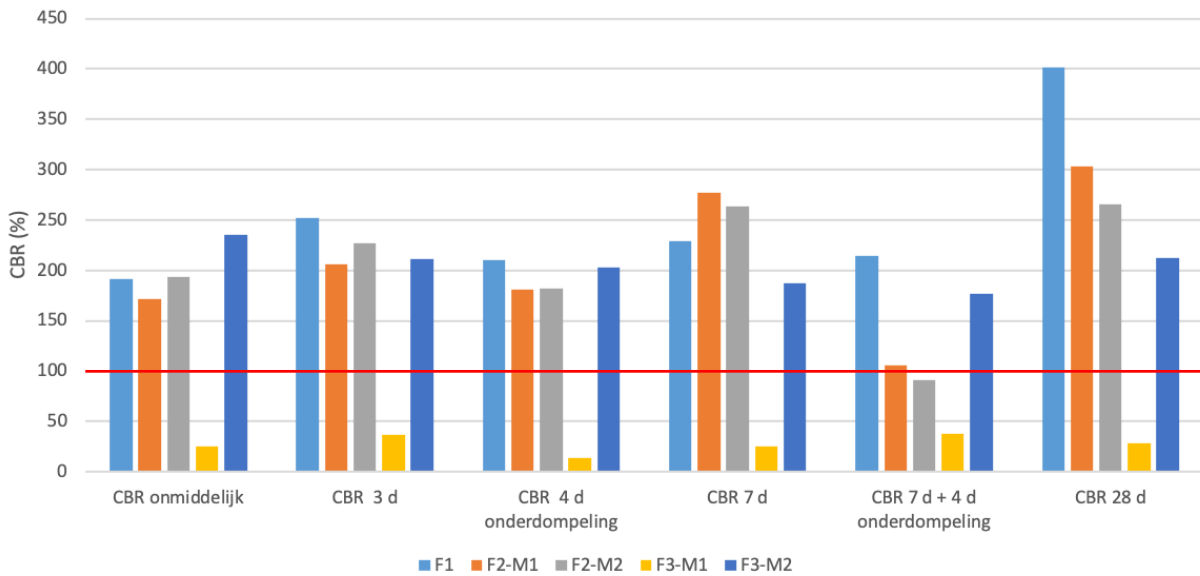
California Bearing Ratio (CBR-waarde) van de verschillende mengsels

De verschillende materialen (F_1 , F_2 - M_1 , F_2 - M_2 , F_3 - M_1 en F_3 - M_2) werden verdicht tot de optimale dichtheid bepaald met de verzwaaarde proctorproef (VPO) (Bureau voor Normalisatie [NBN], 2005). De mengsels F_1 en F_2 werden voorbereid tot het optimale watergehalte. De F_3 -mengsels werden beproefd bij het watergehalte van ontvangst.

Metingen van de *California Bearing Ratio* (CBR-waarde) (NBN, 2021) werden onmiddellijk na verdichting uitgevoerd, en na 3, 7 of 28 dagen bewaring in een klimaatkamer (60 % relatieve vochtigheid (RV) en 20 °C, in de verdichtingsmal en met het bovenvlak onbeschermd), na vier dagen onderdompeling in water onmiddellijk na verdichting, en na zeven dagen uitharding in een klimaatkamer (dezelfde omstandigheden als hierboven) gevolgd door vier dagen onderdompeling.

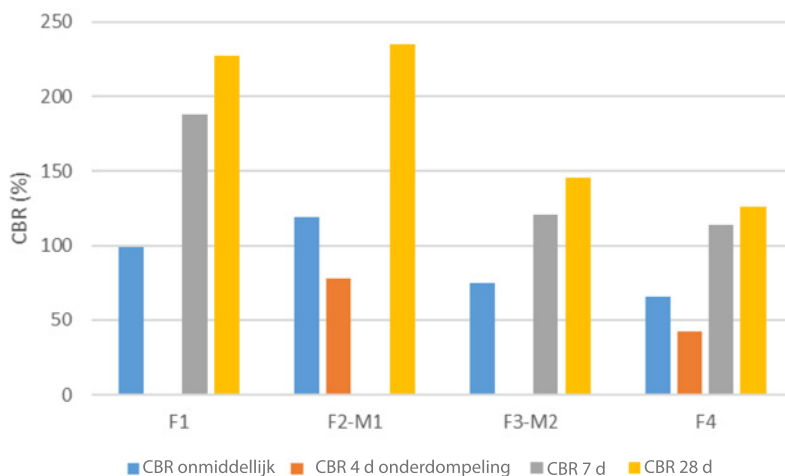
Het doel van deze metingen is het onmiddellijke draagvermogen, de eventuele verharding van het materiaal en de weerstand tegen onderdompeling (periode met regenbuien in situ) te evalueren.

De resultaten worden in figuur 1 weergegeven. Bij gebruik als toepassing voor voetgangers of fietspaden, wordt een CBR-waarde van 100 % aanbevolen. Onmiddellijk na de verdichting bereiken alle mengsels, behalve F_3 - M_1 , een hoge CBR-waarde (> 150 %). Voor drie mengsels werd na drie dagen een toename van het draagvermogen waargenomen. Een aanzienlijke verharding van het F_1 -mengsel wordt waargenomen na 28 dagen. Het draagvermogen na onderdompeling neemt lichtjes af voor F_1 en F_3 - M_2 en neemt meer uitgesproken af voor het F_2 -mengsel, maar blijft voldoende. Wat betreft mengsel F_3 - M_1 zijn de waarden voor het draagvermogen laag, waarschijnlijk omdat het watergehalte te hoog is.



Figuur 1 – Resultaten van de CBR-proef (bij verdichting aan VPO) voor de beproefde halfverhardingen - (Grégoire et al., 2022)

Voor verschillende materialen werden de CBR-waarden ook gemeten op proefstukken die waren verdicht met normale Proctorenergie (OPN = lagere verdichtingsenergie, wat hier overeenkomt met ongeveer 95 % VPO). Hoewel de CBR-waarden afnemen bij verdichting met normale Proctorenergie, blijven ze hoog. De waarden verkregen voor F_4 zijn van dezelfde grootteorde als die voor het mengsel F_3 - M_2 . Het is verrassend om een toename van de CBR-waarde te zien voor F_4 na 7 of 28 dagen bewaring terwijl het mengsel niet gebonden is. Een daling van de CBR-waarde na onderdompeling werd waargenomen voor F_4 en F_2 - M_1 . Deze werd niet gemeten voor de andere twee mengsels.



Figuur 2 – Resultaten van de CBR-proef voor de beproefde halfverhardingen (bij verdichting aan OPN)

Droog-nat cycli

Het doel van deze proeven was om te controleren of het draagvermogen van de bestudeerde materialen (verdicht met normale Proctorenergie) behouden bleef na afwisselend droge

(klimaatkamer 20°C/60 RV) en natte (onderdompeling) perioden van 24 uur. Deze opeenvolging van cycli werd gesimuleerd in het laboratorium na een uithardingsperiode van 14 dagen bij 20 °C en 60 % relatieve vochtigheid, wat overeenkomt met toepassing in klimatologische omstandigheden die geschikt zijn voor het "binden" van de mengsels, gevolgd door een onderdompelingsperiode van 4 dagen. Aan het einde van de 10 cycli, wat overeenkomt met 28 dagen na verdichting, werd de CBR-waarde gemeten op de materialen F_1 en F_3-M_2 (tabel 1).

Vervolgens werd voor de vier materialen F_1 , F_3-M_2 , F_3-M_2 en F_4 een cyclus onder droge omstandigheden toegevoegd voordat de CBR-waarde werd gemeten. De CBR-waarde wordt vervolgens gemeten na 29 dagen. Het feit van te eindigen met een cyclus in droge omstandigheden had geen significante invloed op de CBR-waarde (wegens tijdgebrek werd de CBR-waarde op 28 d na 10 droog-nat cycli niet gemeten op materialen F_2-M_1 en F_4).

	CBR 28 d na droog-nat cycli (OPN)	CBR 29 d na droog-nat cycli (OPN)	CBR 28 d klimaatkamer (OPN)	Ratio (CBR na cycli/ CBR28 d)
F_1	129 +/- 13,9 w=10 %	105 +/- 5,2 w=11,45 %	227 +/- 3,4 w=11,13 %	0,57/0,46
F_3-M_2	97+/-15,3 w=8,7 %	85 +/- 4,1 w=7,75 %	146+/- 13,3 w=8,28 %	0,65/0,34
F_2-M_1	Niet gemeten	79+/-6,7 w=6,1 %	235 +/-13,0 w=5,5 %	0,34
F_4	Niet gemeten	30 +/- 5,5 w=6,08 %	126 +/- 2,2 w=6,11 %	0,23
<ul style="list-style-type: none"> • OPN-verdichting • 14 dagen in een klimaatkamer bij 20 °C en 60 % RV • 4 dagen onderdompeling • 10 (of 11) cycli van 24 uur in een klimaatkamer, met afwisselend droge/natte omstandigheden • Meting van de CBR-waarde 28 (of 29) dagen na verdichting 				

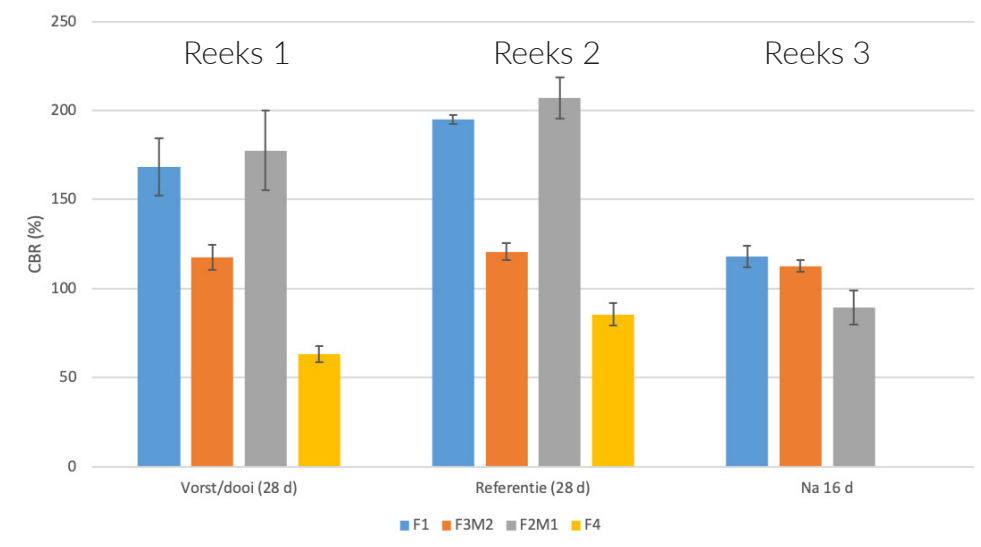
Tabel 1 – CBR-waarden gemeten na de droog-nat cycli voor halfverhardingen – vergelijking met de waarden na uitharding in een klimaatkamer (20 °C – 60 % RV).

Voor F_1 , F_3-M_2 en F_2-M_1 , wordt een daling van de CBR-waarde vastgesteld, maar blijven de waarden hoog. Deze materialen zouden goed bestand zijn tegen afwisselende periodes van regen en droogte. Voor F_4 stellen we een sterke daling van de CBR-waarde vast na de afwisseling van droge en natte cycli.

Vorst-dooiweerstand

De vorst-dooiweerstand wordt bestudeerd op basis van de methode volgens de CEN/TS 13286-54 (Europees Comité voor Normalisatie [CEN], 2014). Voor deze proeven werden drie reeksen van drie proefstukken voorbereid (100 % OPN-dichtheid, watergehalte W_{OPM}). Voor de drie reeksen worden de proefstukken 14 dagen bewaard in een klimaatkamer (20 °C, 60 % RV, onbeschermd bovenoppervlak) en 2 dagen ondergedompeld. Na deze eerste bewaring onderscheiden we:

- Reeks 1: 10 vorst-dooicycli + 2 dagen in een klimaatkamer (20 °C, 60 % RV, onbeschermd bovenoppervlak) - CBR-waarde na 28 dagen.
- Reeks 2: 12 dagen in een klimaatkamer (20 °C, 60 % RV, onbeschermd bovenoppervlak) - CBR-waarde na 28 dagen.
- Reeks 3: CBR-waarde na 16 dagen (onmiddellijk na de eerste bewaring).



Figuur 3 – Resultaten voor de CBR-waarden (%) na de vorst-dooiproeven volgens CEN/TS 13286-54 (CEN, 2014)

De CBR-waarden gemeten na de vorst-dooicycli (reeks 1) blijven hoog voor de beproefde mengsels. De ratio's van $CBR_{reeks1} / CBR_{reeks2}$ bedragen 97 % voor F_3-M_2 en +/- 80 % voor de drie andere beproefde materialen. De CBR-waarden verkregen na de vorst-dooicycli zijn ook hoger dan die verkregen na de eerste 16-daagse bewaring. Dat is significant voor de mengsels F_1 en F_2-M_1 , die dus blijven uitharden tijdens de vorst-dooicycli. De beproefde materialen hadden dus allemaal een goede vorstbestendigheid.

Doorlatendheidsmeting

De doorlatendheid van verschillende mengsels werd getest in het laboratorium met behulp van de door OCW ontwikkelde kolomproef (Van der Wielen & Grégoire, 2018). De eerste proeven werden uitgevoerd op een materiaalhoogte van 30 cm, verdicht in 6 lagen van 5 cm met een dichtheid van 100 % OPN. De volgende proeven werden uitgevoerd op een materiaalhoogte van 10 cm, verdicht in twee lagen van 5 cm, bij 100 en 90 % OPN.

De doorlatendheidswaarden die met deze methode zijn verkregen, worden weergegeven in tabel 2. Ze zijn laag (rond 10^{-7} m/s) voor mengsels verdicht met OPN, met uitzondering van mengsel F_4 , dat een doorlatendheid heeft van $1,25 \cdot 10^{-5}$ m/s. De doorlatendheid van het mengsel dat is verdicht tot 90 % OPN is hoger, maar neemt af met het aantal metingen.

Materiaal	Verdichtingsgraad	Begin meting – aantal dagen na verdichting	K (m/s)	Materiaalhoogte – (duur van de proef) – vol 5 l
F_1	100 % OPN	6 d	$2,79 \cdot 10^{-7}$	30 cm (3 d)
F_1	100 % OPN	28 d	$1,43 \cdot 10^{-7}$	30 cm (3 d)
F_3-M_2	100 % OPN	3 d	$4,15 \cdot 10^{-7}$	10 cm (3 d)
F_3-M_2	100 % OPN	6 d	$1,98 \cdot 10^{-7}$	10 cm (3 d)
F_3-M_2	100 % OPN	14 d	$2,30 \cdot 10^{-7}$	10 cm (3 d)
F_3-M_2	90 % OPN	3 d (1 ^e meting)	$9,93 \cdot 10^{-5}$	10 cm (1 d)
F_3-M_2	90 % OPN	3 d (2 ^e meting)	$1,21 \cdot 10^{-6}$	10 cm (3 d)
F_3-M_2	90 % OPN	14 d	$0,05 \cdot 10^{-6}$	10 cm (10 d)
F_4	100 % OPN	Onmiddellijk	$12,5 \cdot 10^{-6}$	10 cm (1 d)

Tabel 2 – Doorlatendheidsmetingen in het laboratorium met de kolomproef

Proeven in situ

Inleiding

Tijdens het project werden verschillende nieuwe bouwplaatsen gemonitord. Er werden in situ metingen uitgevoerd met de Duitse dynamische plaatproef (Kudla et al., 2018), de nucleaire dichtheidsmeter (ASTM International, 2023) en de dynamische CBR (Schulze et al., 2008) om de verdichting en het draagvermogen van de aangebrachte materialen te controleren.

Het principe van de *CBR in-situ proef* is om een 'stempel' op het te beproeven oppervlak te laten vallen en de diepte van de inslag te meten. Opgemerkt moet worden dat gezien de beperkte dikte van de geteste verhardingen, de modulus gemeten door de dynamische plaatproef door de onderliggende lagen wordt beïnvloed. De Duitse dynamische plaatproeven en de dynamische CBR-proeven werden op een later tijdstip herhaald om eventuele uitharding van de mengsels aan het licht te brengen.

Op elke bouwplaats werd ook een monster van het mengsel genomen om het watergehalte, de droge dichtheid na Proctorverdichting en de CBR-draagvermogenindex te meten in het laboratorium. De belangrijkste resultaten van de bouwplaatsen in Waver, Meise en Tervuren worden hieronder gepresenteerd.

Bouwplaats Waver

Het materiaal F_3 - M_2 werd in oktober 2020 in een woonwijk in Waver aangebracht voor een voetgangerstoepassing (figuur 4). De structuur bestaat uit 5 cm halfverharding, een laag lava van 1 cm, 4 cm menggranulaten 4/20 en 20 cm menggranulaten 20/56. Hetzelfde materiaal werd in 2018 al gebruikt op een ander deel van de site.



Figuur 4 – Bouwplaats met de uitvoering van een halfverharding in Waver (oktober 2020) ; (Grégoire et al., 2021, 2022)

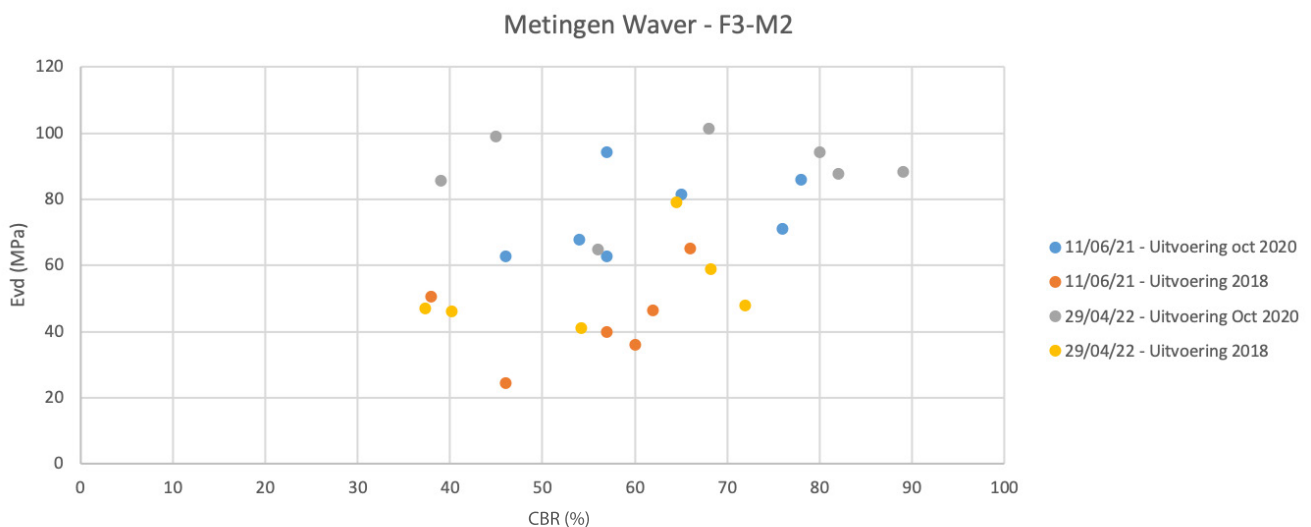
De belangrijkste resultaten worden in tabel 3 weergegeven. De resultaten van de dynamische plaatproeven (Evd) en dynamische CBR-proeven worden getoond in figuur 5.

De CBR-waarde gemeten op het genomen monster is consistent met de waarde gemeten op het materiaal geleverd voor het laboratoriumonderzoek (figuur 1 of 2). Er is een grote spreiding in de Evd-moduli en de dynamische CBR-waarden, met hogere waarden voor het materiaal aangebracht in 2020. Voor elk deel van de site (2018 en 2020) wordt een toename van de gemiddelde waarde van de dynamische moduli waargenomen.

Deze is minder significant voor de CBR-waarde. Er moet worden opgemerkt dat de CBR-waarden in situ lager zijn dan de waarden die in het laboratorium zijn gemeten.

CBR laboratorium - OPM (materiaal geleverd aan het laboratorium)	235 % (w=6,85 %)
CBR laboratorium - OPN (materiaal geleverd aan het laboratorium)	75 % (w=6,92 %)
CBR monster genomen op de site - OPN	75 % (w=8,32 %)
Droge dichtheid OPN	2,034 g/cm ³
Watergehalte op de site	8,32 %
Uitvoering oktober 2020	
EVD dag 0	36 MPa +/- 9,5
EVD dag 32	60 MPa +/- 5,50
EVD na 8 maanden (juni 2021)	75 MPa +/- 12,2
EVD na 18 maanden (april 2022)	89 MPa +/- 12,1
CBR in situ na 8 maanden (juni 2021)	62 % +/- 11,8
CBR in situ na 18 maanden (april 2022)	66 % +/- 19,4
Verdichtingsgraad (dag van uitvoering)	99,9 % OPN
Uitvoering 2018	
EVD (juni 2021)	44 MPa +/- 13,9
EVD (april 2022)	53 MPa +/- 13,9
CBR in situ (juni 2021)	55 % +/-10,6
CBR in situ (april 2022)	56 % +/-14,7

Tabel 3 – Belangrijkste resultaten van de bouwplaats in Waver



Figuur 5 – Dynamische modulus Evd als functie van dynamische CBR (bouwplaats Waver)

Bouwplaats Meise

Materiaal F₁ werd in de week van 21 juni 2021 aangebracht op het terrein van de Plantentuin in Meise (figuur 6). Het materiaal werd verdicht door een trilplaat en vervolgens door een wals. De dikte bedraagt 6 cm. Hetzelfde materiaal werd 6 weken eerder aangebracht op een pad in het park.



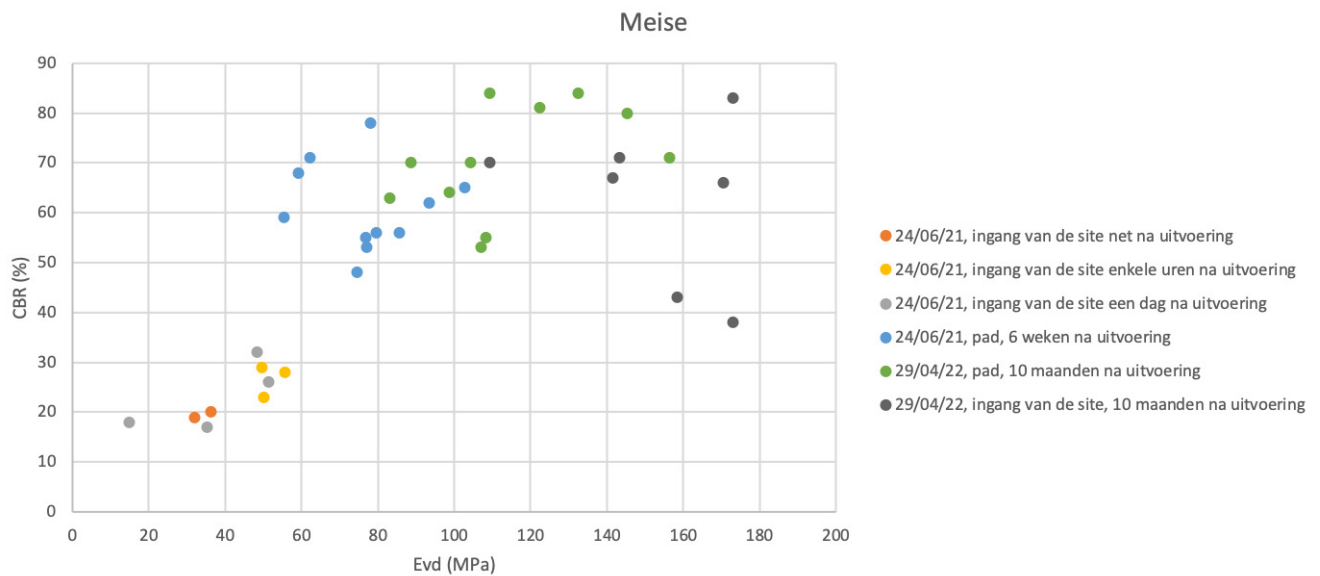
Figuur 6 – Verdichting met een trilplaat in de Plantentuin van Meise



Figuur 7 – Pad in Meise, zes weken na uitvoering

Figuur 8 toont de dynamische CBR als functie van de dynamische modulus (Evd) gemeten ter plaatse op verschillende tijdstippen. Voor beide parameters wordt een verhoging in de loop van de tijd vastgesteld. De CBR-waarde lijkt zich te stabiliseren.

Tabel 4 geeft een overzicht van de metingen in Meise. De dynamische CBR-waarden gemeten op de bouwplaats zijn lager dan die voor de statische CBR gemeten in het laboratorium. Het verschil kan worden verklaard door de lagere dichtheid ter plaatse, maar ook door de beproevingsmethode (dynamisch vs. statisch).



Figuur 8 – CBR en dynamische moduli gemeten voor halfverhardingen in Meise

	F_1
CBR laboratorium - OPM (materiaal geleverd aan het laboratorium)	191 %
CBR laboratorium - OPN (materiaal geleverd aan het laboratorium)	99 %
CBR monster genomen op de site - OPN	111 %
Droge dichtheid OPN	1,939 g/cm ³
Watergehalte op de site	9,49 %
EVD dag 0 of dag +1	42 MPa +/- 12,9
EVD voor het 6 weken eerder uitgevoerd gedeelte	75 MPa +/- 14,2
EVD na 10-11 maanden (alle)	137 MPa +/- 29,3
CBR in situ dag 0	24 % +/- 5,1
CBR in situ op het pad (6 weken na uitvoering)	61 % +/- 8,8
CBR 10-11 maanden (alle)	66 % +/- 6,9
Dichtheid dag 0 of dag +1	91,7 % OPN
Dichtheid op het pad (6 weken na uitvoering)	90,1 % OPN

Tabel 4 – Samenvatting van de resultaten op de site te Meise

Bouwplaats Tervuren

Materiaal F_4 werd in juli 2022 aangebracht in Tervuren voor voetgangers- en fietstoepassingen (figuur 9). Enkele dagen na de uitvoering werden er op een tiental punten nucleaire dichtheidsmetingen en metingen met de Duitse dynamische plaatproef uitgevoerd. De gemiddelde verdichtingsgraad is 97,8 % (uitgaande van een optimale droge dichtheid van $2,03 \text{ g/cm}^3$). De gemiddelde waarde van de dynamische moduli bedraagt 82 MPa. In juli 2023 werd een visuele inspectie uitgevoerd en het materiaal vertoonde geen significante gebreken.



Figuur 9 – Weg met verharding F_4 in Tervuren (juli 2023, een jaar na aanleg)

Doorlatendheidsmetingen

Op de vier locaties werden er metingen uitgevoerd (de drie hierboven beschreven locaties en Linkebeek) met de dubbele-ringproef van OCW (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2021, hoofdstuk 14, paragraaf 4.19), zie figuur 10. Op de site in Linkebeek werden twee metingen uitgevoerd die een resultaat in de orde van 10^{-4} m/s opleverden. In Waver was er geen enkele meting mogelijk (onvoldoende doorlatendheid), noch op het deel uit 2020, noch op het deel uit 2018. In Meise was er geen enkele meting mogelijk voor het deel dat in 2021 werd uitgevoerd. Bovendien leverde slechts één meting een meetbare doorlatendheid op, in een zone die enkele jaren eerder was aangelegd. In Tervuren tot slot werden twee proeven uitgevoerd, maar was er geen meting mogelijk (in tegenstelling tot wat in het laboratorium was waargenomen). Dat zou verklaard kunnen worden door de ondoorlatendheid van het onderliggende materiaal.

Deze metingen, in combinatie met de metingen uitgevoerd op bestaande sites (Grégoire et al., 2021), konden de doorlatende aard van deze materialen niet aantonen.



Figuur 10 – Doorlatendheidsmetingen met de dubbele-ringproef van OCW op de site in Waver.

Conclusie

De binnen het onderzoeksproject NoMaVert bestudeerde halfverhardingen vertonen goede prestaties in het laboratorium (draagvermogen, weerstand tegen onderdompelingscycli, vorst-dooibestendigheid). De doorlatendheid van deze “natuurlijk” gebonden materialen werd echter niet aangetoond.

Alleen het ongebonden materiaal F_4 vertoonde een goede doorlatendheid in het laboratorium, maar is minder bestand tegen onderdompelingscycli. Dit materiaal toont wel enige uitharding na verdichting, een hoog draagvermogen na 28 dagen en gedraagt zich goed bij vorst.

Metingen op de bouwplaats toonden:

- dat er een grote variatie is onder de in situ CBR-waarden en de dynamische moduli (Evd), met een tendens van toename in de tijd gevolgd door stabilisatie voor de CBR-waarde;
- dat de verdichtingsgraad varieert tussen 90 en 99 % OPN;
- dat er geen schade was op de bouwplaatsen (met uitzondering van geulvorming op de helling van de bouwplaats uit 2018 in Waver) – dit moet nog worden bevestigd door verdere monitoring in de loop van de tijd;
- dat de doorlatendheidsmetingen met de dubbele-ringproef geen uitsluitel gaven.

Dit type verharding is geschikt voor een voetgangers- of fietserstoepassing.

Voor nieuwe producten wordt **een voorstudie in het laboratorium** aanbevolen. We raden de volgende specificaties aan **voor de gebonden materialen**:

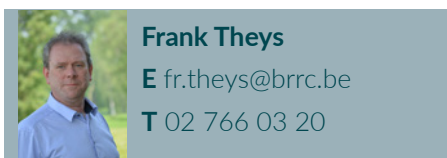
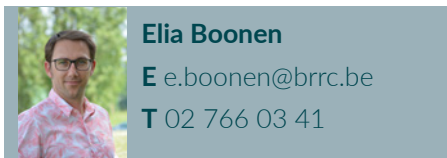
- Onmiddellijke CBR bij OPN ≥ 75 %;
- CBR na 28 dagen bij OPN ≥ 125 %;
- CBR na 7 d + 4 d onderdompeling ≥ 100 %;
- Verhouding [CBR na cycli in droge en vochtige omstandigheden / CBR28d] $\geq 0,5$ of CBR na cycli in droge en vochtige omstandigheden minimaal 100 % (met een uithardingsperiode van 14 dagen bij 20 °C en 4 dagen onderdompeling vóór de cycli);
- Verhouding [CBR na vorst-dooi cycli / CBR 28d] $\geq 0,80$ of CBR na vorst-dooi cycli minimaal 100 % (* 14 dagen uitharden bij 20 °C en 2 dagen onderdompeling voor de cycli).

Op de bouwplaats adviseren we een **controle** van de dichtheid (minimaal 95 % OPN) met een nucleaire dichtheidsmeter en daarna een controle met de Duitse dynamische plaatproef (minimale waarde van 60 MPa te bereiken na 90 dagen). Dat betekent dat een dynamische modulus van ten minste 60 MPa is bereikt op de fundering voordat de halfverharding wordt aangelegd.

NB: Evd ≥ 60 MPa en $M_1 \geq 80$ MPa zijn de vereisten van SB 250 (Vlaamse Overheid, AWV, 2021) voor de funderingen van voet- en fietspaden. Hoewel er (nog) geen Evd-criterium is voor drainerende funderingen, zou het criterium $M_1 \geq 80$ MPa naar analogie kunnen overeenkomen met een Evd ≥ 60 MPa.

Dankbetuiging

OCW bedankt de FOD Economie en het NBN voor de financiering van het project, evenals de producenten voor de nuttige feedback, de levering van de bestudeerde materialen en de toegang tot de sites van uitvoering.



Literatuur

11 onthardingsprojecten krijgen financieel duwtje van Aquafin. (2023). *Aquafin*. <https://www.aquafin.be/nl-be/gemeenten-en-steden/hemelwater/11-onthardingsprojecten-krijgen-financieel-duwtje-van-aquafin>

ASTM International. (2023). Standard test methods for in-place density and water content of soil and soil-aggregate by nuclear methods (shallow depth) (ASTM D6938-23). <https://www.astm.org/d6938-23.html>

Bureau voor Normalisatie (NBN). (2005). *Ongebonden en hydraulisch gebonden mengsels. Deel 50: Methode voor het maken van proefstukken van hydraulisch gebonden mengsels door verdichting met proctorapparaat of triltafel* (NBN EN 13286-50). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=203888&p40_language_code=nl&p40_detail_id=29629&session=4662998503161

Bureau voor Normalisatie (NBN). (2010+2012). *Ongebonden en hydraulisch gebonden mengsels. Deel 2: Beproevingmethoden voor het bepalen van de laboratoriumreferentiedichtheid en het watergehalte: Proctorverdichting* (NBN EN 13286-2+AC). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=199562&p40_language_code=nl&p40_detail_id=61580&session=4662998503161

Bureau voor Normalisatie (NBN). (2021). *Ongebonden en hydraulisch gebonden mengsels. Deel 47: Testmethode voor de bepaling van de Californische lagerverhouding, directe lagerindex en lineaire zwelling* (NBN EN 13286-47). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=205542&p40_language_code=nl&p40_detail_id=97318&session=4662998503161

- European Committee for Standardization (CEN). (2014). *Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 54: Test method for the determination of frost susceptibility: Resistance to freezing and thawing of hydraulically bound mixtures* (CEN/TS 13286-54). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=210571&p40_language_code=nl&p40_detail_id=74414&session=4662998503161
- Gendera, F. (2017, oktober 4-6). *Waterdoorlatende bestratingen: Een ecologische en duurzame verharding binnen het integraal waterbeleid* [Presentatie]. In 23ste Belgisch wegencongres. Belgische Wegenvereniging (BWV).
- Grégoire, C., Boonen, E. & Theys, F. (2021). Nieuwe materialen voor duurzame en “groene” wegconstructies: Eerste onderzoeksresultaten. *OCW newsletter*, (02). <https://brrc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/nieuwe-materialen-duurzame-groene-wegconstructies-eerste>
- Grégoire, C., Boonen, E. & Theys, F. (2022). Structures routières vertes et durables: Premiers résultats sur les revêtements semi-durs. *Revue générale de la route et de l'aménagement (RGRA)*, (987), 22-27.
- Kudla, W., Bumiller, B., Cejka, A., Deutler, T., Diehl, U., Franzen, K.-H., Jansen, D., Kliesch, K., Kloubert, H.-J., Kratzer, B., Lammen, H., Lange, W., Neuhaus, M., Nickol, R., Paulsen, A., Schlögl, F., von Soos, P., Straussberger, D. & Weingart, W. (2018). Technical testing regulations for soil and rock in road construction: TP BF-StB. Part B 8.3: Dynamic plate load testing with the light drop-weight tester (FGSV R1 No. 591/B 8.3 E, vertaling van de Duitse editie van 2012). Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV). https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/591_B_8_3_E.v.pdf
- Schulze, C., Aubrecht, W., Böhm, S., Chakar, L., Dinkgraeve, D., Ehlert, S., Eicher, J., Freiberg, N., Geipel, H., Golkowski, G., Haas, S., Janssen, S., Jumpertz, M., Martick, S., Meyer, G., Nguyen, U., Platzek, W., Rohrig, S., Röthlisberger, F.,... Zimmermann, M. (2008, update 2023). *Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Strassenbau: TP Gestein-StB* (FGSV R1 No. 610). Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV). <https://www.fgsv-verlag.de/tp-gestein-stb>
- Van der Wielen, A. & Grégoire, C. (2018). Het OCW bestudeert steenslag voor onderfunderingen. *OCW mededelingen*, (114), 21-24. <https://brrc.be/sites/default/files/2019-09/med114.pdf>
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). (2021). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw* (versie 4.1a). https://wegenverkeer.be/zakelijk/documenten?search_api_fulltext_1=%22standaardbestek%20250%20versie%204.1a%22&documents%5B0%5D=type_document%3Astandaardbestek