



Nieuwe materialen voor duurzame “groene” wegstructuren – Resultaten voor bomengranulaten

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 structuren met weinig verkeer, zoals trottoirs, fietspaden, pleinen, enz. (Gendra, 2017). In dezelfde context worden er meer groene ruimten in de stedelijke gebieden gecreëerd, met inbegrip van aanplantingen en bomen (Aquafin & Voetgangersbeweging).

In het kader van het prenormatief onderzoeksproject NoMaVert (CCN/NBN/ PN 19A01 PN 19A01) bestudeerden we twee soorten materialen om aan deze behoeften te voldoen: halfverhardingen, die bestaan uit granulaatmengsels behandeld met natuurlijke bindmiddelen, en bomengranulaten, die bestaan uit een mengsel van granulaten en grond. Het eerste materiaal wordt gebruikt als wegdek voor licht verkeer (fietspaden, trottoirs, pleinen, enz.) (Steppe & Verhanneman, 2017). Het tweede materiaal wordt gebruikt als (onder)fundering voor verhardingen rond bomen en/of bij verhardingen zoals grasbetontegels en bestrating met "groene" voegen. Het korrelskelet geeft stabiliteit aan het mengsel en de losse component biedt een basis voor de wortelgroei van bomen (reserve aan voedingsstoffen, watervasthoudend vermogen en geschikt milieu voor wortelgroei).

Tijdens dit onderzoek hebben we de prestaties van deze materialen bestudeerd, zowel in het laboratorium als 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 stelt de resultaten van het onderzoek naar bomengranulaten voor. De resultaten in verband met halfverhardingen zijn reeds gedeeltelijk gepubliceerd, evenals de eerste resultaten in verband met bomengranulaten (Grégoire et al., 2021).

Doorlatendheidsproeven

Voor deze laboratoriumproeven werden vier mengsels van bomengranulaten bestudeerd:

- B1: op basis van vulkanisch granulaat en aarde (16/32)
- B2: op basis van gerecyclede breuksteen, klei, organisch materiaal en additieven (16/32)
- B3: op basis van lava, gebakken klei, teelaarde en organisch materiaal (0/40)
- B4: op basis van lava en klei (0/32)

De doorlatendheid van de bomengranulaten is gemeten met een zogenaamde kolomproef (Figuur 1). Tussen het geteste materiaal en het drainagezand werd een extra geotextiel geplaatst om verontreiniging van het zand te voorkomen. Het materiaal werd in zes lagen verdicht tot de gewenste dichtheid (97 % OPM, bij watergehalte = W_{OPM}) over een hoogte van 30 cm. Het principe van de proef wordt uitgelegd in OCW Mededelingen nr. 114 (Van der Wielen & Grégoire, 2018). Het gaat om een proef met variabele belasting, uitgevoerd met 5 of 10 liter water afhankelijk van de doorlatendheid van het materiaal. De proef wordt in twee fasen verdeeld: een meting op het onverzadigde materiaal en een (of meer) meting(en) op het verzadigde materiaal. De resultaten zijn weergegeven in tabel 1 en Figuur 2.

Voor drie van de vier geteste materialen werd de verzadigde test een tweede maal herhaald. Voor het monster B4 duurde de proef meerdere dagen en daarom werd de test slechts één keer herhaald. Dit is het materiaal met het hoogste gehalte aan fijne deeltjes (<63 μm).



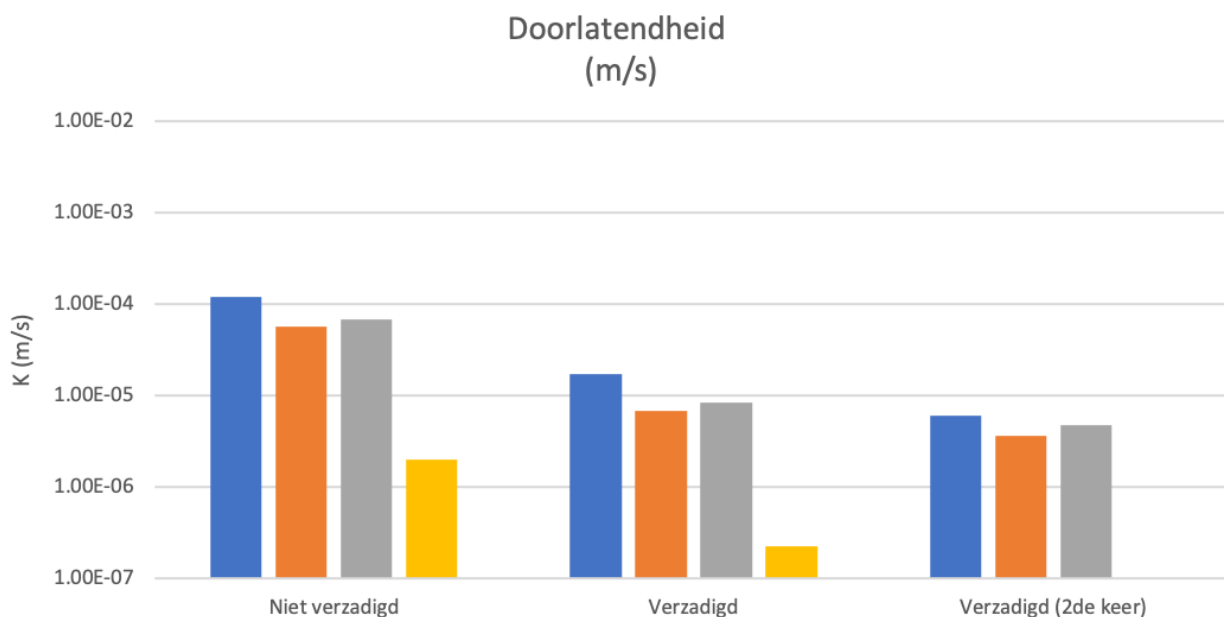
Figuur 1 – Principe van de kolomproef ter bepaling van de waterdoorlatendheid (Van der Wielen & Grégoire, 2018)

De doorlatendheid van het bomengranulaat B1 is groter dan die van de andere materialen, hetgeen kan worden verklaard door de korrelgrootte ervan. Tussen de verschillende proeven wordt een verandering in doorlatendheid waargenomen. Op het eerste gezicht leek het geotextiel niet verstopt. Toen de opstelling werd ontmanteld, was het moeilijk om enige neerwaartse migratie van fijne deeltjes waar te nemen. De afname van de doorlatendheid is dus moeilijk te verklaren.

De geteste materialen zijn relatief weinig waterdoorlatend.

	B1	B2	B3	B4
	16/32	16/32	0/40	0/32
Niet verzadigd	$1,22 \cdot 10^{-4}$	$5,77 \cdot 10^{-5}$	$6,90 \cdot 10^{-5}$	$2,01 \cdot 10^{-6}$
Verzadigd	$1,70 \cdot 10^{-5}$	$6,73 \cdot 10^{-6}$	$8,36 \cdot 10^{-6}$	$2,25 \cdot 10^{-7}$
Verzadigd (2de keer)	$6,11 \cdot 10^{-6}$	$3,62 \cdot 10^{-6}$	$4,83 \cdot 10^{-6}$	
Hoeveelheid water	10 l	10 l	5 l	5 l
Duur van de proef	< 12 h	< 12 h	< 12 h	3 dagen

Tabel 1 – Waterdoorlatendheidsmetingen op bomengranulaten (K [m/s]).



Figuur 2 – Resultaten voor waterdoorlatendheid gemeten met kolomproef

Metingen van de waterretentiecapaciteit

Proeven om de waterretentiecapaciteit te meten werden uitgevoerd in een bak van 1 m³ met waterafvoer, die werd vervaardigd in het kader van dit onderzoeksproject.



Figuur 3 – Bak voor de proeven met betrekking tot de waterretentiecapaciteit

De volgende mengsels werden bestudeerd:

- B3bis
- B5
- B6 (0/32, samengesteld uit basaltlava en regionaal verkrijgbare grondstoffen)
- B4bis
- B2bis
- B1bis
- B7 (0/16, samengesteld uit lava, vulkanische stenen en verschillende kleisoorten)

Sommige materialen werden op verschillende tijdstippen geleverd (suffix BIS). Er werd vastgesteld dat de karakteristieken niet noodzakelijkerwijs constant zijn tussen verschillende batches van eenzelfde materiaal.

Op de materialen werden bij ontvangst Proctorproeven uitgevoerd om de referentiedichtheden te bepalen.

De doelstellingen van de uit te voeren proeven zijn de volgende:

- verdichten van de bomengranulaten in lagen met verschillende verdichtingsgraden;
- bepalen van de haalbare verdichtingsgraad (en droge dichtheid);
- bepalen van de draagkracht via een dynamische plaatproef;
- bepalen van het volume poriën/holle ruimte dat "snel" beschikbaar is voor wateropslag, waarbij niet noodzakelijk alle poriën in de skeletkorrels worden meegerekend.

Voor het eerst geteste materiaal (B3bis) werden de eerste reeksen van verdichting uitgevoerd met een trilplaat en een trilhamer van 70 kg om een hoge verdichtingsgraad te bereiken (ten opzichte van het gewijzigd Proctor optimum). Aangezien het moeilijk bleek om die zware trilhamer onder controle te houden in de kleine ruimte van de bak en de granulaten braken, werd latere verdichting uitgevoerd met een lichtere hamer (30 kg, Figuur 4).



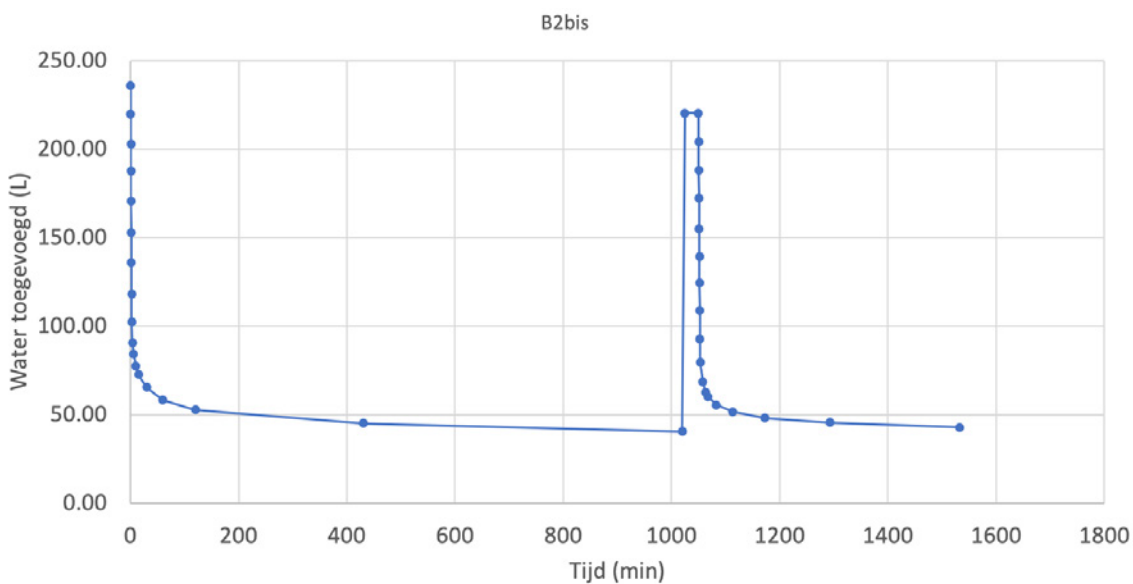
Figuur 4 – Verdichting van de bomengranulaten (trilhamer 30 kg)

Voor de eerste twee geteste materialen werden drie bakken gevuld om verschillende verdichtingsgraden te verkrijgen. Voor het eerste geteste materiaal werden verschillende laagdiktes gebruikt om de gewenste verdichting te verkrijgen (25, 25 en 15 cm). Voor de volgende materialen werd de dikte standaard op 20 cm gehouden.

Het is onmogelijk gebleken deze materialen te verdichten tot 98 % van het Gewijzigde Proctor Optimum, zoals vereist in SB 250, zonder de korrels volledig te breken. In plaats daarvan moet worden gestreefd naar een verdichting van **ongeveer 95-97 % van het Normale Proctor Optimum**.

De proeven werden als volgt uitgevoerd (Figuren 5 tot en met 8):

- de bak met water vullen tot het materiaal verzadigd is (het waterniveau bereikt de bovenkant van het materiaal);
- evacuatie van het water en meting van de hoeveelheid teruggewonnen water als functie van de tijd;
- de bak opnieuw vullen tot het waterniveau de bovenkant van het materiaal bereikt;
- het water laten weggelopen en de hoeveelheid weggelopen water meten als functie van de tijd.



Figuur 5 – Voorbeeld van meetresultaat voor waterretentiecapaciteit op materiaal B2bis

Met deze metingen kon het beschikbare poriënvolume worden berekend (hoeveelheid teruggewonnen water / volume van het verdichte materiaal). Dit percentage houdt alleen rekening met de holle ruimte tussen de korrels, die snel toegankelijk zijn voor wateropslag. Dit is het "snel" beschikbare poriënvolume.

Op enkele van de verdichte lagen werden Duitse dynamische plaatproeven (Figuur 7) tussentijds uitgevoerd. In Tabel 2 worden de gemiddelde waarden daarvan gegeven en zijn alle resultaten samengevat.

	ρ_d, OPN (kg/m ³)	ρ_d, OPM (kg/m ³)	Verd. (% OPN)	Compact. (% OPM)	w (%)	Besch. poriëvol (%)	Besch. poriëvol. – Tweede meting (%)	Evd (MPa)
B3bis		1816		79	13,5	22	18	23,5
				85	13,5	18	17	38,8
				90	13,5	15	12	29,1
B5	2000		96,5		8	12	11	35,6
			95,1			11	9	23,7
			93,4			13	11	33,3
B6	2014		96,5		9	10	9	34,2
B4bis		1843		84,5	15,5			34,7
B2bis	1882	2090	95,3	85	8,3	20	18	31,8
B1bis	1377	1610	98,6	84,3	14,6	16	16	13,4
B7	1798		91,1		9	12	11	22,1

Tabel 2 – Resultaten van de in de bak van 1 m³ geteste materialen



Figuur 6 – Aanbrengen van de vierde laag van B5



Figuur 7 – Dynamische plaatproef (B3bis) – eerste proef



Figuur 8 – Verdichting en dynamische plaatproef (0/40 B3bis) – tweede proef

Analyse van de resultaten

Het “snel beschikbaar” poriënvolume voor wateropslag is gerelateerd aan de verdichtingsgraad en de breuk van de stenen tijdens de verdichting, ondanks het gebruik van een lichte trilhamer.

Het verschilt van materiaal tot materiaal en varieert van 9 % tot 18 % (voor verdichtingspercentages rond 91-98 % OPN). De waarden voor de bomengranulaten "B2bis" en "B1bis" zijn bijzonder hoog (18-16 %). De gemeten watergehaltes variëren van 8 tot 15 %.

In Nederland zijn de specificaties voor het beschikbare watervolume (**maximaal beschikbare capaciteit**) minimaal 30 of 35 % (Normeninstituut Bomen, 2018). In Duitsland zijn ze minimaal 25 of 35 %, afhankelijk van het type bomengranulaten (Heidger & Kurkowski, 2019).

Dit is de **maximaal beschikbare capaciteit**, die rekening houdt met de volumes water in de holten tussen de korrels en in alle poriën van de korrels die toegankelijk zijn voor de opslag van regenwater. Het is dan ook logisch dat deze eisen hoger liggen dan de waarden die hier in het project zijn gemeten.

NB: RWA Baumstandorte/Standortsanierung, 2010 houdt bij de berekening van de maximaal beschikbare capaciteit rekening met de droge massa van het materiaal (en dus met het watergehalte).

Uit deze proeven blijkt dat de draagkracht van de bomengranulaten beperkt is ($E_{vd} < 40$ MPa).

Proeven in de proefsleuf van OCW

Naast de proeven “op laboratoriumschaal” zijn ook twee materialen (B1bis en B7) getest in de proefsleuf van OCW in Sterrebeek (Figuur 9). De proefsleuf is 7 m lang, 2,1 m breed en 2 m diep, waardoor een uitvoering op grotere schaal dan in het laboratorium kan worden gesimuleerd.



Figuur 9 – Proefsleuf in Sterrebeek

Elk materiaal werd aangelegd in vier lagen van 25 cm dikte. De linkerzijde van de proefsleuf werd verdicht met een trilhamer van 70 kg en de rechterzijde met een trilplaat van 154 kg in telkens vier gangen (Figuur 10).



Figuur 10 – Verdichting met trilhamer (links) en trilplaat (rechts)

Op elke laag werden gammadensiteitsmetingen verricht op verschillende diepten met tussenafstanden van 5 cm. De dynamische modulus E_{vd} werd gemeten met de Duitse dynamische plaatproef aan het oppervlak van elke laag (Figuur 11).



Figuur 11 – Gammadensiteitsmetingen (links) en Duitse dynamische plaatproef (rechts) in de proefsleuf

Voor het materiaal B1bis werden als “referentie” de optimale dichtheden van de Normale Proctor (OPN) en Gewijzigde Proctor (OPM) bepaald, deze bedragen respectievelijk 1,3370 en 1,610 t/m³. Voor het materiaal B7 werd enkel de Optimale Normale Proctor-dichtheid (OPN) bepaald, deze bedraagt 1,800 t/m³. Er zij op gewezen dat dit zeer heterogene materialen zijn die gemakkelijk afbreken en waarvan de korrelgrootte, afhankelijk van de geleverde batch, een grote variatie kan vertonen. Deze referentiedichtheden kunnen dus ook vrij variabel zijn.

De dynamische moduli E_{vd} werden gemeten met de Duitse dynamische plaat op elke laag. Tabel 3 toont de gemiddelde waarden voor alle lagen.

Op de materialen B1bis en B7 wordt een dichtheid van respectievelijk 98 % OPN en 91 % OPN verkregen. Het verdichtingspercentage met de trilplaat is lager dan met de trilhamer. Intensievere verdichting zou hebben geleid tot het breken van de korrels van de materialen.

De verkregen dynamische moduluswaarden zijn van dezelfde orde van grootte voor beide materialen (15 MPa) en liggen ruim onder het criterium van 85 MPa voor funderingen in SB 250.

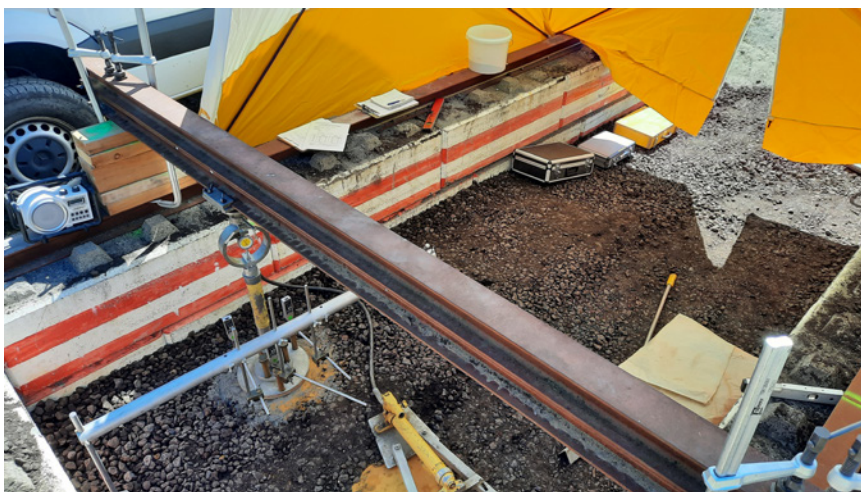
	Verdichtingsmethode	OPN	OPM	Modulus Evd (MPa)
B1bis	Trilhamer	98 %	81,4 %	16,8+/-1,7
B1bis	Trilplaat	93,6 %	77,8 %	15,7+/-1,95

B7	Trilhamer	91 %		15,4 +/- 1,2
B7	Trilplaat	87,3 %		14,6 +/- 2,0

Tabel 3 – Resultaten van de gammadensiteitsmeter en de Duitse dynamische plaatproeven (gemiddelde over alle geteste lagen) in de proefsleuf

Op de laatste laag werden ook Belgische statische plaatproeven uitgevoerd:

- Twee proeven per verdichtingsmethode met de grote statische plaat van 750 cm² (1 belastingscyclus);
- Een proef per verdichtingsmethode met de kleine statische plaat van 200 cm² (2 belastingscycli).



Figuur 12 – Meting met de statische plaatproef op materiaal B1bis

De verkregen samendrukbaarheidsmoduli M_1 (Tabel 4) liggen ruim onder het criterium van 35 MPa dat door SB 250 voor de onderfundering wordt vereist. Ze zijn hoger in het deel dat met de trilhamer wordt verdicht. De tweede cyclus, uitgevoerd met de kleine plaat, laat zien dat de verdichting verbeterd had kunnen worden ($M_2/M_1 \geq 3$), maar dit zou tot korrelbreuk hebben geleid (zie boven).

		M_1 (grote plaat) - MPa	M_1 (kleine plaat) - MPa	M_2 (kleine plaat) - MPa
B1bis	Trilhamer	31,5	16,5	66,5
		20,9		
	Trilplaat	10	15,5	51,5
		20,3		
B7	Trilhamer	22,9	18,6	63,8
		23,2		
	Trilplaat	15,6	16,3	57
		14,6		

Tabel 4 – Resultaten van de metingen met Belgische statische plaatbelastingsproef (oppervlaktelaag)

Op beide materialen werden ook waterdoorlatendheidsmetingen uitgevoerd met de dubbele-ringproef.

Materiaal B7

- Meting 1 (rechterkant, trilplaat): $4,13 \cdot 10^{-4}$ m/s
- Meting 2 (linkerkant, trilhamer): $2,80 \cdot 10^{-4}$ m/s

Materiaal B1bis: de doorlatendheid van het materiaal is te hoog om te worden gemeten met de dubbele-ringproef.

Beide geteste materialen zijn dus goed doorlatend.

Monitoring van een bouwplaats

Tot slot werd ook nog een bouwplaats gemonitord met toepassing van bomengranulaten ter hoogte van een fietspad waarlangs bomen zullen worden geplant (Figuur 13). De structuur is als volgt:

- Onderfundering in bomengranulaten ongeveer 50 cm
- Cementgebonden steenslag ongeveer 20 cm
- Asfaltverharding

De onderfundering uit bomengranulaten is breder dan het toekomstige fietspad om voldoende ruimte te laten voor wortelgroei.

De bomengranulaten werden in twee lagen verdicht met een lichte wals, waarbij de eerste laag dikker was (30-35 cm) dan de tweede laag.



Figuur 13 – Uitvoering van bomengranulaten op de bouwplaats

Er werden statische plaatproeven met de grote plaat en dynamische plaatproeven uitgevoerd (Figuur 14). De respectieve moduli worden getoond in tabel 5.

Statische plaat, M_1	27 MPa		
Dynamische plaat, E_{vd}	13 MPa	11 MPa	13 MPa

Tabel 5 – Resultaten van de statische en dynamische plaatproeven op de bouwplaats

De resultaten voor de dynamische plaatmetingen zijn vergelijkbaar met de in de proefsleuf verkregen resultaten. De met de statische plaatproef gemeten samendrukbaarheidsmodulus ligt in dezelfde orde van grootte als die welke in de proefsleuf is gemeten voor het met de trilhamer verdichte deel. Hij blijft echter onder de 35 MPa, de eis van het SB 250 (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2021) voor een onderfundering.



Figuur 14 – Uitvoering van bomengranulaten op een bouwplaats – statische plaatproeven

Conclusie

De doorlatendheid van deze materialen, gemeten in het laboratorium op monsters die tot 97 % OPM zijn verdicht, varieert van 10^{-5} tot 10^{-7} m/s, afhankelijk van de korrelgrootte van het materiaal. Ze zijn dus relatief weinig waterdoorlatend.

Proeven in de bak van 1 m^3 hebben uitgewezen dat de korrels van deze materialen volledig breken als ze worden verdicht tot een verdichtingsgraad van 95-100 % OPM. Om dit te voorkomen moeten de **verdichtingspercentages worden beperkt tot 95 % - 97 % OPN**. Dat verklaart de hierboven gemeten vrij beperkte waterdoorlatendheden bij verdichtingsgraden van 97 % OPM. Het betekent ook dat de eerder gemeten draagkrachten (Grégoire et al., 2021) bij die meer verdichte granulaten niet meer van toepassing zijn.

Bij de proeven in de bak na deze beperkte verdichtingsgraad bleek dat het beschikbare poriënvolume varieerde naargelang het geteste materiaal en de gebruikte verdichtingsgraad (waarden tussen 9 % en 18 % voor het poriënvolume). Deze verkregen waarden zijn lager dan de waarden vooropgesteld in de Duitse of Nederlandse specificaties. Voor deze laatste is dit in feite de maximaal beschikbare capaciteit, die rekening houdt met de volumes water in de holten tussen de korrels en alle poriën in de korrels, die echter niet snel toegankelijk zijn voor de opslag van regenwater. Het is dan ook logisch dat deze eisen hoger liggen dan de waarden die in het huidige project zijn gemeten.

Uit deze proeven blijkt dat de draagkracht van de bomengranulaten beperkt is ($E_{vd} < 40 \text{ MPa}$).

De proeven in de proefsleuf van Sterrebeek toonden ook een beperkte draagkracht (Duitse dynamische modulus E_{vd} in de orde van 15 MPa). De verkregen statische moduli zijn iets hoger voor het deel dat met een trilhamer is verdicht, maar blijven onder de 35 MPa (vereiste van het SB 250 [Vlaamse Overheid, AWW, 2021] voor een onderfundering). Deze resultaten worden bevestigd door de resultaten van de gemonitorde bouwplaats.

De dubbele-ringmetingen uitgevoerd in de proefsleuf hebben aangetoond dat de waterdoorlatendheden bij deze lagere verdichtingsgraden wel hoog waren.

Deze bomengranulaten, die voornamelijk bedoeld zijn voor het goede groeien en in stand houden van beplantingen (bomen), zijn zeker niet aanbevolen als fundering van een wegstructuur. Het gebruik als onderfundering in een weg met zwaarder wegverkeer kan alleen worden aanbevolen voor die bomengranulaten die voldoende kunnen worden verdicht om een voldoende draagkracht te halen (statische modulus > 35 MPa). Dit omdat de verdichting wordt bemoeilijkt door de samenstelling van het materiaal (nodig om de groei van bomen en aanplantingen te waarborgen) wat resulteert in een doorgaans beperkte draagkracht. In wegen met een beperkt verkeer (dit wil zeggen verkeer zonder of met zeer weinig vrachtwagens) kan het gebruik in een onderfundering eventueel wel worden overwogen.

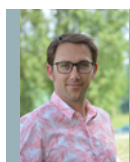
Dankbetuigingen: wij danken het NBN en de FOD Economie voor de financiering van dit onderzoeksproject, alsook de leveranciers voor het ter beschikking stellen van materialen en bouwplaatsen en voor de constructieve gesprekken.



Colette Grégoire

E c.gregoire@brrc.be

T 02 766 03 19



Elia Boonen

E e.boonen@brrc.be

T 02 766 03 41



Frank Theys

E fr.theys@brrc.be

T 02 766 03 20

Literatuur

- Aquafin & Voetgangersbeweging. (2022). *Operatie perforatie*. <https://www.publiekeruimte.info/projectwerking/operatie-perforatie/>
- Gendera, F. (2017, oktober 4-6). *Waterdoorlatende bestratingen: Een ecologische en duurzame verharding binnen het integraal waterbeleid* [Presentatie]. In 23ste Belgisch wegencongres, Brussel. Belgische Wegenvereniging (BWW).
- Grégoire, C., Boonen, E. & Theys, F. (2021). Nieuwe materialen voor duurzame en "groene" wegconstructies: Eerste onderzoeksresultaten. OCW Newsletter, (02). <https://brcc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/nieuwe-materialen-duurzame-groene-wegconstructies>
- Grégoire, C., Boonen, E. & Theys, F. (2022). Structures routières vertes et durables: Premiers résultats sur les revêtements semi-durs. *Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA)*, (987), 22-27.
- Heidger, C. & Kurkowski, H. (2019). Regelwerke der FGSV für Strassenbäume: Neupflanzung 2006/ Baumbestand M EVB 2019. Teil 1. *Strasse und Autobahn*, 70(7), 570-577.
- Norminstituut Bomen. (2018). Handboek bomen 2018.
- RWA Baumstandorte/Standortsanierung. (2010). *Empfehlungen für Baumpflanzungen. Teil 2: Standortvorbereitung für Neupflanzungen: Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate* (FLL Technische Regeln). Forschungsgesellschaft landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL). <https://www.fgsv-verlag.de/empfehlungen-fur-baumpflanzungen-teil-2>
- Steppe, P. & Verhanneman, K. (2017, oktober 4-6). *Halfverhardingen: Theoretische beschouwingen, praktijkervaringen, aanbevelingen voor een kwalitatief ontwerp en uitvoering* [Presentatie]. In 23ste Belgisch wegencongres, Brussel. Belgische Wegenvereniging (BWW).
- Van der Wielen, A. & Grégoire, C. (2018). Het OCW bestudeert steenslag voor onderfunderingen. OCW mededelingen, (114), 21-24.
- 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