



Nieuwe materialen voor duurzame en “groene” wegconstructies – Eerste onderzoeksresultaten

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. (Gendra, 2017). In dezelfde context worden er meer groene ruimten in de stedelijke gebieden gecreëerd, met inbegrip van aanplantingen en bomen (Aquafin & Infopunt Publieke Ruimte, s.d.).

In het kader van het prenormatief onderzoeksproject NoMaVert (CCN/NBN/PN 19A01) bestudeert OCW 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).

Voor deze twee materialen zijn in België tot op heden geen prestatie-eisen vastgesteld. Sommige landen, zoals Nederland of Duitsland, hebben een aantal prestatie-eisen gepubliceerd.

Bomengranulaten zijn opgenomen in het standaardbestek van het Vlaamse Gewest (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2019) met enkele eisen inzake intrinsieke parameters. Deze zullen worden aangevuld in de volgende errata, waarvan de publicatie eind 2021 is gepland.

Tijdens dit onderzoek bestuderen we de prestaties van deze materialen, 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.

“ Tijdens dit onderzoek bestuderen we de prestaties van deze materialen, zowel in het laboratorium als op het terrein ”

Selectie van materialen

Voor halfverhardingen werden vijf materialen in het laboratorium gekarakteriseerd. Ze waren afkomstig van drie verschillende leveranciers. 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 : het bindmiddel is van plantaardige oorsprong;
- F_3 - M_2 : het bindmiddel is van plantaardige oorsprong.

Voor de materialen van leveranciers F_1 en F_3 werden de granulaten ook afzonderlijk geleverd.

Voor de bomengranulaten werden vier mengsels bestudeerd:

- B1: op basis van vulkanische granulaten en aarde;
- B2: op basis van gerecyclede breuksteen, klei, organisch materiaal en additieven;
- B3: op basis van lava, gebakken klei, teelaarde en organisch materiaal;
- B4: op basis van lava en klei.

Halfverhardingen

Laboratoriumproeven

Karakterisering van mengsels en/of granulaten

Er werden korrelgrootteanalyses uitgevoerd van de vijf mengsels en de beschikbare granulaten (F_1 , F_3 - M_1 en F_3 - M_2).

De granulaten van het F_1 -mengsel werden gekarakteriseerd wat betreft vorstbestendigheid, waterabsorptie, vlakheidsindex, weerstand tegen verbrijzeling LA en slijtvastheid M_{DE} . De resultaten (tabel 1) zijn in overeenstemming met de eisen van CCT *Qualiroutes* (Service Public de Wallonie [SPW], 2021) voor granulaten in steenslagfunderingen. De proeven voor de karakterisering van granulaten konden niet worden uitgevoerd op de granulaten van F_3 vanwege hun beperkte korrelgrootte.

	Eigenschap	OCW	Eisen van CCT Qualiroutes voor granulaten in steenslagfunderingen
Granulaten - (fractie 0/32 mm)	Magnesiumsulfaatproef (NBN EN 1367-2)	1,68 %	≤ 35
	Vorst-dooiweerstand (NBN EN 1367-1)	0,12 %	≤ 4 (of 10 onder voorwaarden)
	Waterabsorptie voor 0/4 (NBN EN 1097-6)	0,7 %	-
	Waterabsorptie voor 0/32 (NBN EN 1097-6)	1 %	≤ 1
	Vlakheidsindex (NBN EN 933-3)	15 %	≤ 35
	Gehalte aan fijne deeltjes (NBN EN 933-1)	3,6 %	4 %
	LA (NBN EN 1097-2)	14 %	≤ 30
	M _{DE} (NBN EN 1097-1)	8 %	≤ 25
F₁-mengsel	Gehalte aan fijne deeltjes (NBN EN 933-1)	8,9 %	-
	Gehalte aan elementen < 4 mm (933-1)	82,5 %	-
	Gehalte aan elementen < 8 mm (933-1)	99,3 %	-

Tabel 1 – Resultaten van de karakteriseringsproeven van het F₁-mengsel en het bijbehorende granulaat

Onmiddellijke draagvermogenindex (CBR-waarde) van de verschillende mengsels

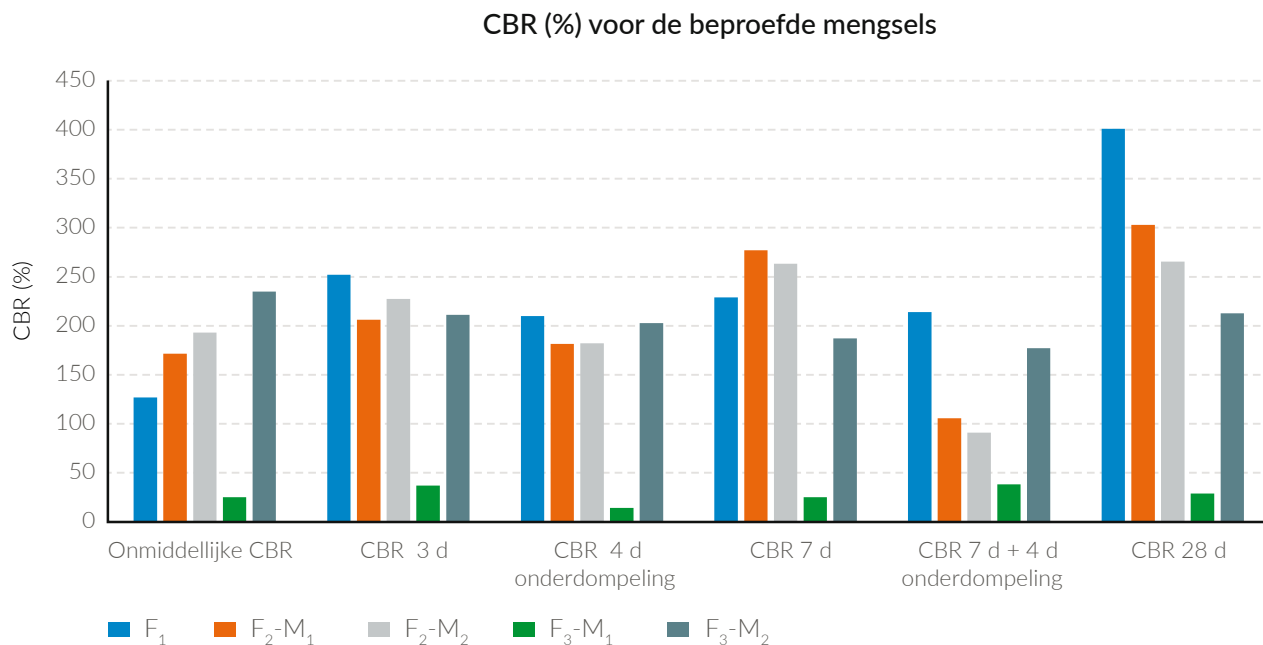
De materialen werden verdicht tot de optimale dichtheid bepaald met de verzwaarde proctorproef (Bureau voor Normalisatie [NBN], 2005, 2010-2012). De mengsels F₁ en F₂ werden voorbereid tot het optimale watergehalte. De F₃-mengsels werden beproefd bij het watergehalte van ontvangst.

Metingen van de onmiddellijke draagvermogenindex (CBR-waarde, NBN, 2012) werden respectievelijk uitgevoerd onmiddellijk na verdichting, na 3, 7 en 28 dagen bewaring in een klimaatkamer (60 % relatieve vochtigheid en 20 °C, in de verdichtingsmal en met het bovenzvlak onbeschermd), na vier dagen onderdompeling 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 gedetailleerd weergegeven. Voor gebruik in verhardingen moet een voldoende hoge CBR-waarde (geschat op 100 %) worden bereikt. Onmiddellijk na de verdichting bereiken alle mengsels, behalve F₃-M₁, deze waarde. Voor drie mengsels werd na drie dagen een toename van het draagvermogen waargenomen. Een aanzienlijke verharding van het F₁-mengsel wordt waargenomen na 28 dagen. Het draagvermogen na onderdompeling neemt lichtjes af voor F₁ en F₃-M₂ en neemt meer uitgesproken af voor het F₂-mengsel, maar

blijft voldoende. Voor het mengsel F_3-M_1 zullen aanvullende proeven worden uitgevoerd op een nieuw proefstuk om deze eerste resultaten te verifiëren.



Figuur 1 – Resultaat van de onmiddellijke draagvermogenindex (CBR-waarde) voor de beproefde halfverhardingen

Proeven in situ

Monitoring van bestaande bouwplaatsen

Tussen juli en september 2020 zijn op bestaande bouwplaatsen doorlatendheidsmetingen met de dubbele-ringmethode (volgens bijlage A van PTV 827 [COPRO, 2010]) uitgevoerd. Na een saturatie van ten minste 20 minuten wordt het waterpeil in de binnenste ring van het toestel constant gehouden. De saturatie van de grond tussen de binnenste en de buitenste ring voorkomt dat het geïnjecteerde water zijwaarts stroomt. In principe duurt de proef ten minste 20 minuten. Deze tijden zijn indicatief en kunnen worden aangepast op basis van de doorlatendheid van het te beproeven oppervlak.



Figuur 2 – Dubbele-ringproef van OCW

Tabel 2 bevat de lijst met locaties waar doorlatendheidsmetingen zijn uitgevoerd. Zoals uit de resultaten blijkt, konden slechts enkele doorlatendheidswaarden worden afgeleid, aangezien de andere doorlatendheden in situ te laag waren om met het OCW-toestel te kunnen worden gemeten. In Sledderlo is de doorlatendheid tussen 2016 en 2020 afgenomen.

Plaats/Leverancier	Uitvoering	Meting	Aantal metingen	Waarde dubbele-ringproef
Sledderlo - F ₄	Mei 2016	10/7/2020	2	Doorlatendheid niet meetbaar
		22/9/2016	3	k1 = 4,1 E-5 m/s k2 = 1,7 E-5 m/s k3 = 4,0 E-6 m/s
Tienen - F ₁	2017 (fase 1) - 2019 (fase 2)	10/08/2020	2 (fase 1)	Doorlatendheid niet meetbaar
Genk - F ₁	2018 (fase 1) - 2019 (fase 2)	10/08/2020	2	Doorlatendheid niet meetbaar
Antwerpen - F ₁	2015	12/8/2020	2	Doorlatendheid niet meetbaar
Borgerhout - F ₁	Eind 2019	12/8/2020	2	Doorlatendheid niet meetbaar
Tervuren - F ₃	2017	10/9/2020	2	Doorlatendheid niet meetbaar
			1	3,79 E-6 m/s
Erps-Kwerps - F ₃	September 2015	10/9/2020	1	3,56 E-4 m/s
			2	Doorlatendheid niet meetbaar

Tabel 2 – Doorlatendheidsmetingen met de dubbele-ringproef op bestaande locatie met halfverhardingen

Momenteel worden doorlatendheidsproeven in het laboratorium uitgevoerd om deze resultaten in situ te verifiëren.



Figuur 3 – Bouwplaats met de uitvoering van een halfverharding in Waver (oktober 2020)

Nieuwe bouwplaats

Het materiaal F₃-M₂ werd in oktober 2020 in een woonwijk in Waver aangebracht voor een voetgangerstoepassing. De structuur bestaat uit:

- 20 cm menggranulaten 20/56;
- 4 cm menggranulaten 4/20;
- lavalag +/- 1 cm na verdichting;
- halfverharding van 5 cm na verdichting.

Er werden metingen verricht met de Duitse dynamische plaat (Kudla, 2012) op de fundering, de lavalag en de verharding. De metingen werden 32 dagen na uitvoering herhaald op de verharding. Gezien de diameter van de dynamische plaat (30 cm) wordt de meting op de verharding van 5 cm sterk beïnvloed door de onderliggende lagen.

De moduli op de afzonderlijke lagen zijn niet erg hoog, maar wel voldoende voor een exclusieve voetgangerstoepassing. Een meting op de verharding na 32 dagen toont een toename van het draagvermogen en benadert of bereikt de waarden die zullen worden vereist door SB 250 (Vlaamse Overheid, AWW, 2019) voor fietspadfunderingen en doorlatende funderingen (Errata 2021, dynamische modulus $E_{vd} \geq 60$ MPa). Na 32 dagen was er geen zichtbare

schade aan de bouwplaats. Een inspectie in maart 2021 bevestigde dat er geen zichtbare schade was.

Vlak na de uitvoering zijn er proeven met de nucleaire dichtheidsmeter (ASTM International, 2017) uitgevoerd op zeven punten. De gemiddelde waarde voor de natte dichtheid is $2,20 \text{ g/cm}^3$, wat overeenkomt met de waarde voor de natte dichtheid die in het laboratorium is gemeten aan het materiaal dat is bemonsterd en verdicht volgens de normale proctormethode. Het natuurlijke watergehalte is 8,32 % en de gemeten CBR-waarde is 75 %.

N°	Afstand (m)	Dag 0				Na 32 dagen
		Dynamische plaat op de fundering (MPa)	Dynamische plaat op de lavalag (MPa)	Dynamische plaat op de verharding (MPa)	Nucleaire dichtheidsmetingen Natte dichtheid (g/cm^3)	Dynamische plaat op de verharding (gemiddelde van twee metingen)
10	10	32,33	40,54	34,99	2,203	62,54
11	35	22,12	31,65	31,51	2,185	50,235
12	60	28,34	44,73	55,01	2,223	62,24
13	85	40,61	86,54	38,66	2,217	55,79
14	110	43,69	41,13	37,01	2,221	64,475
15	135	24,46	39,27	29,37	2,17	56,61
16	160	19,96	42,13	25,57	2,184	65,205

Tabel 3 – Proeven op de bouwplaats in Waver met product F_3-M_2 (Duitse dynamische plaat en metingen met de nucleaire dichtheidsmeter)

Doorlatendheidsmeting

In maart 2021 zijn drie doorlatendheidsmetingen met de dubbele-ringproef uitgevoerd op verschillende locaties op de bouwplaats: twee metingen op het deel dat in oktober 2020 werd uitgevoerd en één meting op het deel van de bouwplaats dat in 2018 werd uitgevoerd. Net als bij de vorige bouwplaatsen was de doorlatendheid in situ te gering om met de dubbele-ringproef te kunnen worden gemeten.



Figuur 4 – Doorlatendheidsmetingen op de bouwplaats in Waver (product F_3-M_2)

Bomengranulaten

Laboratoriumproeven

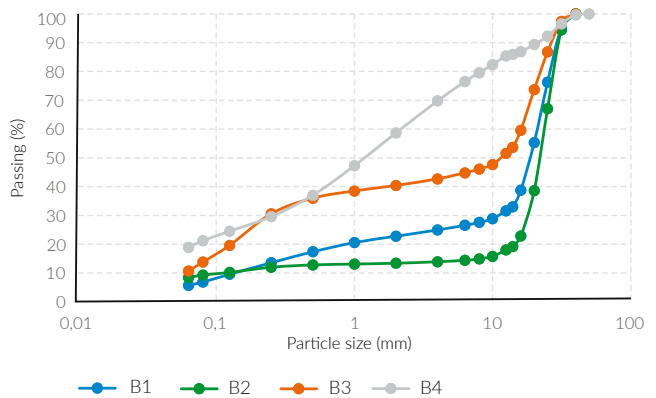
Voor elk van de mengsels werd een korrelgrootteanalyse uitgevoerd, evenals een versterkte-proctorkromme opgesteld (vijf punten) (NBN, 2010-2012) met meting van de CBR-waarde onmiddellijk na verdichting en na vier dagen onderdompeling (NBN, 2012). De resultaten worden hieronder gepresenteerd.



Mengsel B4

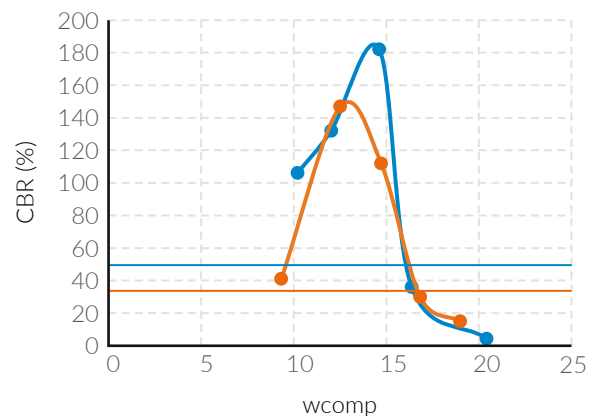
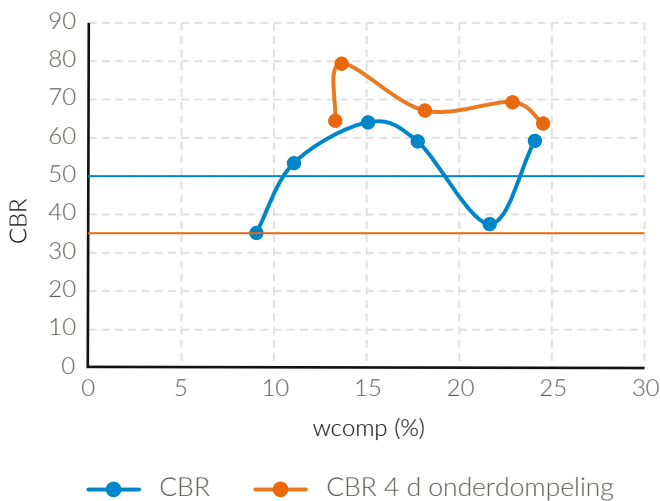


Mengsel B1



Figuur 5 – Korrelverdelingskrommen voor de vier beproefde bomengranulaten

De waarden van de onmiddellijke draagvermogenindex (CBR-waarden) zijn voldoende (streefwaarde 50 %) binnen een watergehaltebereik van enkele procenten rond het optimale watergehalte (zie figuur 6 voor twee mengsels). De waarden voor het draagvermogen na onderdompeling blijven voldoende (streefwaarde 35 %) binnen een watergehaltebereik van enkele procenten rond het optimale watergehalte.



Figuur 6 – Onmiddellijke CBR-kromme en CBR-kromme na vier dagen onderdompeling voor de bomengranulaten B1 en B4

Er werden karakteriseringsproeven (weerstand tegen verbrijzeling LA, slijtvastheid M_{DE} , waterabsorptie, vorst- en dooibestendigheid) uitgevoerd op de mengsels B3 en B4 en op de granulaten van de mengsels B1 en B2.

Tabel 4 bevat de resultaten van deze proeven. De waarden worden vergeleken met de vereisten van de standaardbestekken voor toepassing in de **onderfundering (aangezien er momenteel geen specifieke vereisten zijn voor bomengranulaten¹, met uitzondering van enkele intrinsieke parameters in SB 250, versie 4.1, H3§77.2)**. Met uitzondering van B3, dat een grenswaarde voor de Los Angeles weerstand tegen verbrijzeling vertoont (LA 41 in plaats van 40), zijn de prestaties aanvaardbaar, vooral voor toepassingen met beperkt verkeer.

	Waterabsorptie (NBN EN 1097-6)	LA (NBN EN 1097-2)	M_{DE} (NBN EN 1097-1)	$M_{DE}+LA$	Vorst- en dooi- bestendigheid (NBN EN 1367-1)
B1 – beproeven van granulaten	Hoog	OK OK SB 250	IIb en III (max. 1000 vracht- wagens per dag)	OK	OK
B2 – beproeven van granulaten	OK	OK OK SB 250	OK	OK	OK
B3 - beproeven van mengsel	Hoog	CCT Quali- routes en SB 250: grenswaarde	IIb en III (max. 1000 vracht- wagens per dag)	Alleen IIIb (geen vrachtwagens)	OK
B4 - beproeven van mengsel	Hoog	OK OK SB 250	OK	OK	Alle wegennetten ten noorden van Samber en Maas; IIIb elders (geen vrachtwagens) OK SB 250

Tabel 4 – Resultaten van de proeven voor vergelijking-karakterisering van de beproefde bomengranulaten met de eisen voor onderfunderingen in de standaardbestekken (SB 250 + CCT Qualiroutes)

1 In de errata van het Vlaamse standaardbestek SB 250 (Vlaamse Overheid, AWW, 2019) worden voortaan een aantal eisen opgenomen, gebaseerd op de uitgevoerde proeven.

Conclusie

Halfverhardingen

De beproefde materialen tonen goede prestaties wat betreft draagvermogen (met uitzondering van één mengsel dat opnieuw zal worden beproefd). Onderdompeling veroorzaakt een min of meer duidelijke daling van het draagvermogen, maar de waarden zijn nog steeds voldoende.

De gemonitorde bouwplaats vertoont aanvaardbare dynamische moduli voor een exclusieve voetgangerstoepassing. Een toename van de moduli wordt waargenomen na een maand.

De in situ proeven die op verschillende bouwplaatsen zijn uitgevoerd, lijken het waterdoorlatende karakter van de materialen niet te bevestigen. De gemeten in situ doorlatendheden zijn zeer laag of niet meetbaar met de dubbele-ringproef. Er worden doorlatendheidsproeven in het laboratorium uitgevoerd om deze eigenschap te verifiëren.

Er zijn ook aanvullende proeven gepland om de weerstand tegen opeenvolgende natte en droge perioden en de vorstbestendigheid te meten.

Bomengranulaten

De beproefde materialen leveren voldoende prestaties voor gebruik in de onderfunderingslaag, voornamelijk voor toepassingen met beperkt verkeer. Doorlatendheidsmetingen in het laboratorium zijn aan de gang.

Laboratoriumproeven om het waterretentievermogen te meten zijn gepland voor 2021, evenals monitoring van bouwplaatsen.



Colette Grégoire

E c.gregoire@brrc.be

T 02 766 03 19

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.



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 & Infopunt Publieke Ruimte. (s.d.). Operatie perforatie. <https://www.operatieperforatie.be/>

ASTM International. (2017). *Standard test methods for in-place density and water content of soil and soil-aggregate by nuclear methods (shallow depth)* (ASTM D6938-17a).
<https://www.astm.org/Standards/D6938.htm>

Bureau voor Normalisatie. (2005). *Ongebonden en hydraulisch gebonden mengsels. Deel 50: Methode voor het maken van proefstukken van hydraulisch gebonden mengsels door verdichting met proctorapparatuur of triltafel* (NBN EN 13286-50).
<https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-13286-50-2005~261947/>

Bureau voor Normalisatie. (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://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-13286-2-2010~360482/>

Bureau voor Normalisatie. (2012). *Ongebonden en hydraulisch gebonden mengsels. Deel 47: Beproevingmethode voor de bepaling van de California bearing ratio, immediate bearing index en de lineaire zwellings* (NBN EN 13286-47).
<https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-13286-47-2012~451351/>

COPRO. (2010). *Waterdoorlatende bestratingen: Systeem-, product- en plaatsingseisen* (Technische Voorschriften No PTV 827, versie 1.0).
<https://www.copro.eu/sites/default/files/document/file/Download/Reglementen/Hemelwater/Geldige%20versie/WEB%20PTV%20827%20v%201-0.pdf>

Gendera, F. (2017, oktober 4-6). *Waterdoorlatende bestratingen, een ecologische en duurzame verharding binnen het integraal waterbeleid* [Presentatie]. 23^{ste} Belgisch Wegencongres, Brussel.

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. (2012). *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). Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV).

Service Public de Wallonie. (2021). *CCT Qualiroutes: Cahier des charges-type* (geconsolideerde versie 2021). http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/frame.jsp?index_cctquali.html

Steppe, P. & Verhanneman, K. (2017, oktober 4-6). *Halfverhardingen: Theoretische beschouwingen, praktijkervaringen, aanbevelingen voor een kwalitatief ontwerp en uitvoering* [presentatie]. 23^{ste} Belgisch Wegencongres, Brussel.

Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer. (2019). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw* (versie 4.1). <https://wegenverkeer.be/zakelijk/documenten?search=standaardbestek+4.1>