



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Uw partner voor duurzame wegen

Prestatie-eisen voor voegvullingsmaterialen in bestratingen met kleinschalige elementen



Researchverslag

RV 45



Sinds 1952 staat het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) als onpartijdig onderzoekscen-
trum ten dienste van alle partners in de Belgische wegenbranche. Duurzame ontwikkeling door inno-
vatie is de leidraad voor alle activiteiten in het Centrum. Het OCW deelt zijn kennis met professionals uit
de wegenbranche onder meer door middel van zijn publicaties (handleidingen, syntheses, researchver-
slagen, meetmethoden, informatiebladen, OCW Mededelingen en Dossiers, activiteitenverslag). Onze
publicaties worden in het binnen- en buitenland op ruime schaal verspreid bij centra voor wetenschap-
pelijk onderzoek, universiteiten, openbare instellingen en internationale instituten. Meer informatie
over onze publicaties en activiteiten: www.ocw.be.

Researchverslag RV 45

Prestatie-eisen voor voegvullingsmaterialen in bestratingen
met kleinschalige elementen

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947

Brussel

2018

Auteurs

Elia Boonen
Marijn Lybaert
Anne Beeldens

Met medewerking van Benny De Cauwer (UGent, Vakgroep Plantaardige Productie)

Dankbetuiging

Onze dank gaat naar de FOD Economie en het Bureau voor Normalisatie (NBN) voor de financiële steun aan het pre-normatieve onderzoek PREVOSTRAT (voluit “**P**restatie-eisen voor innovatieve **vo**egvullingsmaterialen in **be**stratingen met kleinschalige elementen”), dat in samenwerking met de Universiteit Gent (UGent, Vakgroep Plantaardige Productie) is uitgevoerd.

Bericht aan de lezer

Hoewel dit researchverslag met de grootst mogelijke zorg is opgesteld, zijn onvolkomenheden nooit uit te sluiten. Het OCW en de personen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, kunnen geenszins aansprakelijk worden gesteld voor de verstrekte informatie, die louter als documentatie en zeker niet voor contractueel gebruik is bedoeld.

Prestatie-eisen voor voegvullingsmaterialen in bestratingen met kleinschalige elementen / Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw. – Brussel : OCW, 2018. – 60 blz. – (Researchverslag, ISSN 1376-9367 ; 45).

Wettelijk depot: D/2018/0690/4

© OCW – Alle rechten voorbehouden

Inhoud

Woord vooraf	7
1 Inleiding	9
1.1 Context	9
1.2 Onderzoeksofzet	10
2 Bestaande eisen en indeling in productgroepen	11
3 Fysisch-mechanische en duurzaamheidseigenschappen van gebonden voegmortels	15
3.1 Mechanische sterkte en dichtheid	15
3.2 Krimp	18
3.3 Wateropsorping	19
3.4 Vorst-dooibestandheid met dooizouten	21
3.5 Slijtweerstand	23
3.6 Warmte-uitzetting	24
3.7 Verwerkbaarheidstijd	24
3.8 Andere eigenschappen en nieuwere materialen	26
4 Onkruidwerend/-remmend vermogen	29
5 Functiegerelateerde eigenschappen	33
5.1 Hechtsterkte	33
5.2 Toepasbaarheid van voegvullingsmaterialen	36
5.3 Erosiegevoeligheid van voegmortels	38
5.4 Waterdoorlatendheid van gebonden voegvullingen	40
6 Toetsing van de laboratoriumresultaten op het terrein	43
7 Implicaties en aanbevelingen voor de praktijk	49
L Literatuur	55
N Normen – Technische richtlijnen	59
Lijst van de figuren	4
Lijst van de tabellen	6

Lijst van de figuren

Figuur 1	Voegvulling is een onmisbaar onderdeel van een bestrating, wegens het principe van lastoverdracht tussen de stenen van een verharding door middel van geheel gevulde voegen	9
Figuur 2	Indeling van voegvullingsmaterialen in productgroepen	11
Figuur 3	Voorbeelden van innovatieve(re) voegvullingsmaterialen (van links naar rechts: epoxygebonden voegmortel, polymeerzand en <i>joint sealer</i>)	13
Figuur 4	Invloed van het watergehalte op de mechanische sterkte van een cementgebonden voegmortel	16
Figuur 5	Mechanische eigenschappen van verschillende epoxyvoegmortels na zeven dagen uitharding bij 20 °C en 60 % RV	16
Figuur 6	Invloed van de uithardingscondities op mechanische eigenschappen van cementgebonden voegmortel (boven) en harsgebonden voegmortel (met epoxy) (onder)	17
Figuur 7	Overzicht van krimpmetingen op cement- en harsgebonden voegmortels en bijbehorende meetmethode	18
Figuur 8	Proef ter bepaling van de wateropsorping van voegmortels volgens NBN EN 12808-5	19
Figuur 9	Resultaten voor de wateropsorping van cementgebonden voegmortels (standaardmortel = cementmortel aangemaakt volgens norm NBN EN 196-1)	20
Figuur 10	Proef ter bepaling van weerstand tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten, aangepast voor cementgebonden voegmortels	21
Figuur 11	Resultaten voor afschilfering na de vorst-dooiproef bij cementgebonden mortels en blootgesteld oppervlak	22
Figuur 12	Verband tussen wateropsorping na achtentwintig dagen en cumulatief massaverlies na achtentwintig vorst-dooicycli bij aan dooizouten blootgesteld oppervlak van cementgebonden mortels en bij bewaring bij 60 % RV	22
Figuur 13	Principe van de Caponproef ter bepaling van de slijtweerstand van voegmortels volgens NBN EN 12808-2	23
Figuur 14	Gemiddelde warmte-uitzettingscoëfficiënt [in $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$] tussen -20 °C en +40 °C van verschillende cement- en harsgebonden voegmortels, bepaald volgens NBN EN 1770	25
Figuur 15	Resultaten van proeven ter bepaling van de verwerkbaarheidstijd van voegmortels volgens NBN EN 13294 en NBN EN 1015-9 (standaardmortel = cementmortel aangemaakt volgens norm NBN EN 196-1)	25
Figuur 16	UV-veroudering van harsgebonden voegmortels in een klimaatkamer (links) en vergelijking tussen al dan niet aan UV blootgestelde proefstukken (rechts)	27
Figuur 17	Evolutie in de tijd van de mechanische sterkte en de dichtheid van een een-componentvoegmortel, en invloed van uithardingscondities op deze evolutie	27
Figuur 18	Opstelling voor pottenproeven (links) en minibestratingsproef (rechts) bij de UGent, ter bepaling van het onkruidwerende vermogen van voegvullingen	29
Figuur 19	Onkruidbedekking (% van het verharde oppervlak) van miniverhardingen ingevoegd met vijftien organisch (met 20 vol-% teelaarde) verontreinigde voegvullingen (minibestratingsproef). De streep bij 2 % geeft de algemeen aanvaarde veronkruidingsdrempel in België weer	31
Figuur 20	Proeven ter bepaling van de directe hechtsterkte tussen straatsteen en voegmortel volgens NBN EN 1542	33
Figuur 21	Invloed van de straatsteensoort (beton, klei, natuursteen) en de bijhorende oppervlakafwerking (bezand, onbezand, gekloofd, gezaagd) op de directe hechtsterkte met harsgebonden mortel A en cementgebonden mortel B	34
Figuur 22	Proeven ter bepaling van de schuine hechtsterkte tussen straatsteen en voegmortel, gebaseerd op de <i>Slant shear test</i> volgens NBN EN 12615	35
Figuur 23	Resultaten voor de schuine hechtsterkte tussen betonstraatsteen en verschillende voegmortels, al dan niet na vooraf bevochtigen van de straatsteen	35

Figuur 24	Proefbakken met trilplaat ter bepaling van toepasbaarheid van voegmaterialen	36
Figuur 25	Resultaten voor toepasbaarheid van voegzanden in een fijne voeg (1-2 mm), uitgedrukt als volumetrische vulling (l/m^2) van de voeg	37
Figuur 26	Resultaten voor de toepasbaarheid van voegmortels, uitgedrukt als opgevulde voegdiepte (dikte straatsteen = 80 mm)	37
Figuur 27	Proeven ter bepaling van de erosiegevoeligheid van de voegmortels (stalen onkruidborstel en laserprofielmeter om de voegprofielen voor en na borstelen te bepalen)	38
Figuur 28	Resultaten van proeven ter bepaling van de erosiegevoeligheid van de voegmortels na mathematische verwerking van de voegprofielen (zie voorbeelden voor epoxy D bovenaan): verschil in maximale voegdiepte voor en na borstelen	39
Figuur 29	Proef ter bepaling van de waterdoorlatendheid van drainerend schraal beton, toegepast op epoxyvoegmortel	40
Figuur 30	Samenvatting van alle resultaten van proeven ter bepaling van de waterdoorlatendheid van harsgebonden voegmortels (gemiddelde resultaten aan drie kernen en na minimaal 2 h doorstroomtijd) als functie van de bewaringscondities: droog (> 14 d bij 60 % RV), nat (24 h onder water), verzadigd (28 d onder water), opnieuw droog (> 7 d in laboratoriumomstandigheden)	41
Figuur 31	Vergelijking van de druk- en buigsterkte voor proefstukken, op een bouwplaats vervaardigd met cementgebonden voegmortel A	43
Figuur 32	Vergelijking van de resultaten van proeven ter bepaling van de vorst-dooibestandheid met dooizouten aan op de bouwplaats vervaardigde proefstukken met die van proeven in het laboratorium: voegmortels uit een truckmixer	44
Figuur 33	Vergelijking van krimpmetingen voor proefstukken die op een bouwplaats zijn vervaardigd met cementmortel C	44
Figuur 34	Samenvatting van resultaten voor druk- en buigsterkte aan proefstukken die op de bouwplaats werden vervaardigd en in buitenomstandigheden werden bewaard	45
Figuur 35	Samenvatting van de resultaten voor de hechtsterkte tussen natte straatsteen en voegmortel, voor proefstukken die op de bouwplaats werden vervaardigd en in buitenomstandigheden werden bewaard	46
Figuur 36	Resultaten van proeven ter bepaling van de waterdoorlatendheid aan proefstukken van epoxyvoegmortel C, die op de bouwplaats werden vervaardigd en binnen (60 % RV) of buiten werden bewaard	47
Figuur 37	Voorbeeld van samenvatting van resultaten van proeven ter bepaling van mechanische en functionele eigenschappen van cement- en harsgebonden voegmortels en vergelijking met bestaande eisen (standaardmortel = cementmortel aangemaakt volgens NBN EN 196-1)	51

Lijst van de tabellen

Tabel 1	Overzicht van normen en bijbehorende eisen aan gebonden voegmortels in verschillende landen	12
Tabel 2	Resultaten van proeven ter bepaling van de slijtweerstand van voegmortels	24
Tabel 3	Berekening van de <i>workable life</i> en de <i>stiffening time</i> van voegmortels uit de grafiek van figuur 15 (blz. 25)	26
Tabel 4	Classificatiesysteem voor onkruidwerend vermogen van voegvullingsmaterialen	30
Tabel 5	Vergelijking van waterdoorlatendheidsmetingen in het laboratorium met dubbele-ringproeven in situ op proefvakken met waterdoorlatende straatstenen	47
Tabel 6	Matrix met te beproeven eigenschappen naar gelang van de soort voegvullingsmateriaal en bijbehorend toepassingsgebied	49
Tabel 7	Definitie van verschillende verkeerscategorieën voor bestratingen in OCW-handleiding A 80/09 [1]	50
Tabel 8	Beproevingsmethoden ter bepaling van mechanische en functionele eigenschappen van gebonden voegmortels in het laboratorium	52
Tabel 9	Aanbevelingen voor eisen aan gebonden voegmortels voor bestratingen naargelang van de volgens tabel 7 (blz. 50) verwachte verkeersbelasting	53

Woord vooraf

Dit researchverslag is opgesteld in het kader van het pre-normatieve onderzoeksproject PREVOSTRAT (voluit “Prestatie-eisen voor innovatieve voegvullingsmaterialen in bestratingen met kleinschalige elementen”), dat van 1 september 2014 tot en met 31 augustus 2016 met steun van de FOD Economie en het Bureau voor Normalisatie (NBN) en in samenwerking met de Universiteit Gent (Vakgroep Plantaire Productie) werd uitgevoerd.

Het onderzoek had als doel beproevingsmethoden en bijbehorende prestatie-eisen op te stellen voor innovatieve, al dan niet gebonden voegvullingsmaterialen voor toepassing in wegverhardingen met kleinschalige elementen (van beton, gebakken klei of natuursteen).

Naast een samenvatting van de belangrijkste bevindingen en resultaten van het onderzoek worden richtlijnen en aanbevelingen voor eisen aan voegvullingsmaterialen in Europese normen en/of de Belgische standaardbestekken voorgesteld.



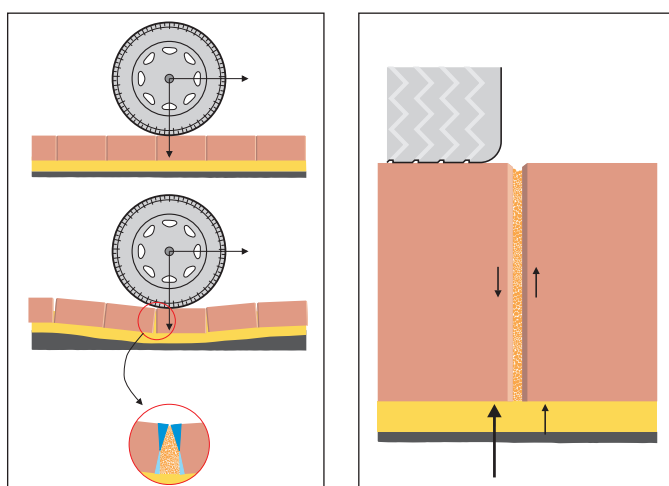


Hoofdstuk 1

Inleiding

1.1 Context

In een wegverharding met kleinschalige elementen (zoals betonstraatstenen, kleiklinkers, natuursteen) vormt de voegvulling een wezenlijk onderdeel van de opbouw, dat niet altijd naar waarde wordt geschat [1]. Om de bestrating effectief de rol van verharding te laten vervullen, dienen de voegen tussen de straatstenen steeds met gepast materiaal gevuld te zijn. Het voegvullingsmateriaal en de duurzaamheid van de voeg in haar geheel zijn dan ook van groot belang voor de stabiliteit van de bestrating op lange termijn. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen klassieke, ongebonden materialen, zoals zand en fijn steenslag, en gebonden voegmortels.



Figuur 1 – Voegvulling is een onmisbaar onderdeel van een bestrating, wegens het principe van lastoverdracht tussen de stenen van de verharding door middel van geheel gevulde voegen

Bij de gebonden materialen wordt volgens NBN EN 13888 “Mortels voor keramische tegels” nog een indeling gemaakt in cementgebonden voegvullingen (*cementitious grouts*) en innovatievere mortels met reactieve harsen (*reaction resin grouts*), die polymeergebonden zijn. De duurzaamheidseisen die in deze norm zijn opgenomen, verschillen echter sterk voor de twee soorten van voegvullingen (cement- of polymeergebonden); bovendien zijn zij enkel voor keramische tegels opgesteld. Deze kleinschalige elementen van beperkte dikte worden typisch enkel voor binnen- of buitentoeepassingen met beperkte verkeersbelasting (terrassen, tuinpadjes, enz.) gebruikt.

Voor wegverhardingen van betonstraatstenen en -tegels (NBN EN 1338 en 1339), gebakken straatstenen (NBN EN 1344) of natuurstraatstenen (NBN EN 1341 en 1342) bestaan momenteel echter geen uniforme Europese voorschriften op het vlak van voegvullingsmaterialen.

Daarnaast zijn recentelijk ook heel wat nieuwe, innovatieve voegvullingsmaterialen zoals polymeerzanden en met dispersies gestabiliseerde zanden ontwikkeld, waarbij ook niet meteen duidelijk is tot welke van de hierboven voorgestelde categorieën van “gebonden” voegvullingen ze behoren en aan welke eisen ze dienen te voldoen. Vele van deze nieuwe materialen werden trouwens ook specifiek ontwikkeld om onkruidgroei op bestratingen tegen te gaan. In de huidige context van verbod op het gebruik van herbiciden in de openbare ruimte is namelijk uit eerder onderzoek van het OCW [2] gebleken dat

preventief onkruidbeheer op verhardingen van kleinschalige elementen een belangrijk aandachtspunt is. Ook hierin speelt de keuze van de voegvulling een rol. Momenteel bestaat er geen gestandaardiseerde beproevingsmethode om het onkruidwerende vermogen van voegvullingsmaterialen voor bestratingen te testen.

Tot slot is ook de waterdoorlatendheid van het voegvullingsmateriaal een belangrijk aspect als bijvoorbeeld een toepassing in waterdoorlatende bestratingen wordt beoogd [3]. Bij toepassing van straatstenen die (via verbrede voegen of drainageopeningen) water doorlaten, wordt van het toegepaste voegvullingsmateriaal een minimale doorlatendheid geëist [4]. Voor ongebonden materialen (zand en fijn steenslag) bestaan er al beproevingsmethoden om de waterdoorlatendheid te meten. Voor gebonden (uitgeharde) voegvullingen echter bestaat er nog geen beproevingsmethode ter bepaling van de waterdoorlatendheid, aangezien de klassieke (met cement of kalk gebonden) mortels per definitie ondoorlatend zijn. De nieuwe materialen hebben echter ook een zekere doorlatendheid.

1.2 Onderzoeksopzet

In deze context heeft het OCW met steun van de FOD Economie en het NBN en in samenwerking met de Universiteit Gent (UGent, Vakgroep Plantaardige Productie) gedurende twee jaar onderzoek verricht met als hoofddoel beproevingsmethoden en bijbehorende prestatie-eisen op te stellen voor innovatieve, al dan niet gebonden voegvullingsmaterialen voor toepassing in wegverhardingen met kleinschalige elementen (betonstraatstenen, kleiklinkers of natuursteen). Dit betekende een uitbreiding van de bestaande voorschriften op vier vlakken:

- uitbreiding van de eisen voor voegvullingsmaterialen naar andere soorten verhardingen (met gebakken straatstenen, betonstraatstenen en natuursteen in de vorm van grote straatkeien, gezaagde stenen of mozaïekkeien) onder verkeer;
- uitbreiding van de eisen naar nieuwe soorten voegvullingsmaterialen;
- uitbreiding van beproevingsmethoden ter bepaling van de prestaties voor onkruidwerend vermogen [2];
- uitbreiding van beproevingsmethoden ter bepaling van de prestaties voor waterdoorlatendheid [3].

Concreet wordt daarbij een onderscheid gemaakt tussen drie belangrijke aspecten van prestatie-eisen:

- fysisch-mechanische eigenschappen en duurzaamheidsproeven (voor gebonden mortels);
- onkruidwerend of -remmend vermogen van voegvullingen (ongebonden en gebonden materialen);
- functiegerelateerde eigenschappen zoals waterdoorlatendheid van gebonden materialen, hechtsterkte tussen straatsteen en voegmortel, en toepasbaarheid en erosiegevoeligheid van voegvullingsmaterialen.

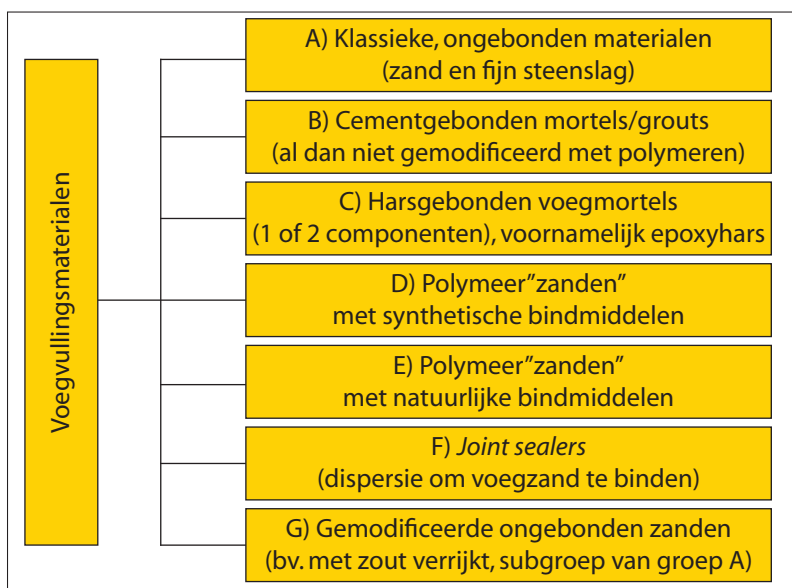
Dit verslag beoogt een actuele balans van mogelijke proeven ter kenmerking van voegvullingen op te maken, geeft een overzicht van de resultaten die tijdens het onderzoek zijn verkregen voor op de Belgische markt beschikbare materialen, en tracht een eerste aanzet te geven tot prestatie-eisen op de verschillende genoemde vlakken.

Hoofdstuk 2

Bestaande eisen en indeling in productgroepen

Er werd een uitvoerige literatuurstudie en analyse van bestaande normen verricht, om een goed overzicht te verkrijgen van de bestaande beproevingsmethoden en bijbehorende eisen aan voegvullingsmaterialen voor toepassing in bestratingen met kleinschalige elementen [5]. Tabel 1 (blz. 12) geeft een samenvatting van de belangrijkste normen en bijbehorende eisen in verschillende Europese landen. Het betreft hier dus gangbare mechanische proeven voor gebonden voegmortels zoals bepaling van buig- en druksterkte, dichtheid, krimp, wateropsorping, vorst-dooibestandheid, enz., die ook in het OCW zijn onderzocht. Vooral in het Verenigd Koninkrijk en Duitsland is wat dat betreft al veel werk verricht.

Op basis van het literatuuroverzicht en contacten met verscheidene leveranciers is ook een overzicht van de beschikbare voegvullingsmaterialen op de Belgische markt opgesteld met een indeling in verschillende productgroepen, zoals weergegeven in figuur 2.



Figuur 2 – Indeling van voegvullingsmaterialen in productgroepen

De eerste twee groepen van materialen zijn vrij goed bekend:

- onder *klassieke ongebonden materialen* (productgroep A) worden verstaan voegvullingsmaterialen zoals natuurlijke of kunstmatige zandsoorten en granulaatmengsels (zeezand, kwartsand, gebroken kalksteen of zandsteen met korrelgrootte 0/1 of 0/2; 0/4 of 0/6,3) en fijn steenslag (bijvoorbeeld porfier, kalksteenslag met korrelgrootte 2/4-6,3). De maximale korrelgrootte bedraagt 1 mm voor smalle voegen (< 2 mm) of 0,8 maal de voegbreedte met een maximum van 8 mm voor brede voegen. Bij voorkeur worden hoekige granulaten gebruikt, om een betere samenhang te verkrijgen;
- *klassieke gebonden materialen* (productgroep B) zijn met cement gebonden voegmortels en gemodificeerde mortels – met toegevoegde polymeren en/of andere toeslagstoffen voor verbeterde eigenschappen zoals een verhoogde hechtsterkte of betere verwerkbaarheid – waarmee een water- en luchtdichte voeg wordt gecreëerd. Belangrijke aandachtspunten bij deze materialen zijn mogelijke scheurvorming door krimp en de weerstand tegen vorst-dooicycli, al dan niet in aanwezigheid van dooizouten.

Tabel 1 – Overzicht van normen en bijbehorende eisen aan gebonden voegmortels in verschillende landen

* Afhankelijk van de verkeersbelasting

[...] Voor harsgebonden mortels

Parameter	EN 13888	BS 7533-7 & 10	FGSV 618/2	WTA MB 5-21	ZTV Wegebau FLL	RVS 08.18.01	NF P98-335	SB 250 (versie 3.1a), Hfst. 3-74
Druksterkte [MPa]	≥ 15 [45]	≥ 25* ≥ 40*	≥ 45 (gemidd.) ≥ 40 (individ.)	≥ 40 [35 - 55] ≥ 30 bouw- plaats	≥ 10 - 30* [5 - 25]*	≥ 30	-	≥ 40
Buigsterkte [MPa]	≥ 2,5 [30]	≥ 3,5* ≥ 6,0*	-	≥ 6,0	-	≥ 6,0	> 3,5 (24 h) > 7 (7 d)	≥ 6,0
Hechtsterkte [MPa]	-	≥ 1,0* ≥ 1,5*	≥ 1,5 (gemidd.) ≥ 1,2 (individ.) ≥ 0,8 bouw- plaats	≥ 1,5 ≥ 0,8 bouw- plaats	≥ 0,4 - 1,0* [0,2 - 1,0]* ≥ 0,4 - 0,5* bouwplaats	≥ 1,0	> 2	≥ 1,5
E-modulus [kN/mm ²]	-	≥ 18* ≥ 20*	-	20 - 26	-	-	-	20 ± 4
Dichtheid [kg/m ³]	-	≥ 2 000	-	-	-	-	-	-
Krimp [mm/m]	≤ 3 [1,5]	≤ 1	-	≤ 1	-	-	< Ref/1,5	≤ 1,5
Wateropslorping [g] Na 30 min Na 240 min	≤ 2 ≤ 5 [0,1]	-	-	-	[k ≥ 10 ⁻⁵ m/s voor epoxy]	-	-	-
Slijtweerstand (Capon) [mm ³ verlies]	≤ 1 000 [250]	-	-	-	-	-	-	-
Vorst-dooi- bestandheid met dooi- zouten [g/m ²]	-	bestand	CDF: ≤ 500	CDF: ≤ 1 000 ≤ 1 500 (individ.)	CDF: ≤ 800	bestand	NF P18-424	-
Toepassings- gebied	Keramische tegels	Natuursteen- en beton- steen- bestrating	Straatsteen- en tegelverhar- ding in gebon- den uitvoering	Straatsteen- verharding	Straatsteen- verharding zonder weg- verkeer	Straatsteen- en tegelver- harding	Straatsteen- en tegelver- harding	Sneldrogende voegmortel

Daarnaast bestaan dus ook innovatieve, al dan niet gebonden voegmaterialen die vaak speciaal ontwikkeld zijn om onkruidgroei en erosie van het voegvullingsmateriaal tegen te gaan, waarbij de laatste jaren heel wat uiteenlopende materialen op de markt zijn gebracht.

Harsgebonden voegmortels (productgroep C) bestaan uit een mengsel van kwartszand, een kunsthars en eventuele organische en anorganische additieven, waarbij het zandskelet gebonden wordt met een- of tweecomponentenkunsthars (hoofdzakelijk epoxy) dat door een chemische reactie volledig uithardt (thermohardende kunststof). De zeefkromme van het zand en het type en de dosering van het bindmiddel worden aangepast aan de verwachte verkeersklasse. Er bestaan kant-en-klare (1K-)voegmortels die onmiddellijk als zodanig kunnen worden gebruikt (meestal op basis van polybutadieen), systemen waarbij een component voorgemengd is met zand en de tweede component op de bouwplaats dient te worden toegevoegd, of nog voegmortels waarbij de twee componenten met het zand moeten worden gemengd. Doorgaans wordt in laatste instantie ook nog water aan het mengsel toegevoegd, om de vloeibaarheid en verwerkbaarheid in de voegen te verbeteren. Deze polymeergebonden mortels worden dus altijd in min of meer "natte" toestand aangebracht. Bovendien zijn ze, in tegenstelling tot cementgebonden voegmortels, altijd enigszins waterdoorlatend. De waterdoorlaatbaarheid varieert met het gekozen product en het gehalte aan toegevoegd hars.

Polymeerzanden zijn "droge" voegzanden voorgemengd met polymere (niet-epoxy-, geen hars)bindmiddelen, die (net als klassiek voegzand) droog in de voegen moeten worden geveegd voordat de stenen met een trilplaat worden aangetrild. Na het trillen worden zij met water bevochtigd of beneveld tot de voegen verzadigd zijn, waarna deze volledig uitharden. Het bindmiddel kan van *synthetische* (toegevoegde kunststoffen, productgroep D) of *natuurlijke* (bijvoorbeeld plantaardige, organische lijmen = biologisch bindmiddel, productgroep E) oorsprong zijn. Afhankelijk van de aard en dosering van dit bindmiddel kan de voegvulling in uitgeharde toestand meer of minder elastisch zijn of in vochtige condities zelfs plastisch reageren. Ook zouden sommige materialen met biologische bindmiddelen door contact met water (bijvoorbeeld regenbui) opnieuw worden geactiveerd, waardoor kleine scheurtjes in de voegmassa hersteld kunnen worden [6].

Een volgende groep wordt gevormd door de *joint sealers* (productgroep F) of "voegafdichters": Bij dit type product wordt een gewone zandvoeg afgedicht door middel van een waterige dispersie met een synthetisch polymeer bindmiddel, die na het trillen op het bestratingsoppervlak verstoven of gegoten wordt om het zand in de voegen beter te binden en zo erosie en onkruidgroei tegen te gaan. Ook de waterdoorlatendheid van de zandvoeg neemt hierdoor sterk af. Deze techniek wordt in het Verenigd Koninkrijk vaak toegepast, maar is in België nog niet echt wijdverspreid.

Tot slot bestaan er ook speciale, *gemodificeerde (ongebonden) voegzanden* (productgroep G) die bijvoorbeeld met zout of andere substanties verrijkt zijn, zodat deze materialen in de voeg een onkruidwerend effect vertonen. Dit is eigenlijk een subgroep van productgroep A.



Figuur 3 – Voorbeelden van innovatieve(re) voegvullingsmaterialen (van links naar rechts: epoxygebonden voegmortel, polymeerzand en joint sealer)

Hoofdstuk 3

Fysisch-mechanische en duurzaamheids-eigenschappen van gebonden voegmortels

In de eerste fase van het onderzoek zijn proeven uitgevoerd om de mechanische eigenschappen van enkele geselecteerde cementgebonden (productgroep B) en (epoxy)harsgebonden (productgroep C) voegmortels te bepalen. Hiervoor zijn de bestaande beproevingsmethoden namelijk zonder meer toepasbaar en kunnen de resultaten worden getoetst aan de eisen in de verschillende Europese landen (zie tabel 1, blz. 12).

Als uitgangspunt werden de beproevingsmethoden en bijbehorende eisen in NBN EN 13888 "Mortels voor keramische tegels" genomen. De volgende eigenschappen werden beproefd:

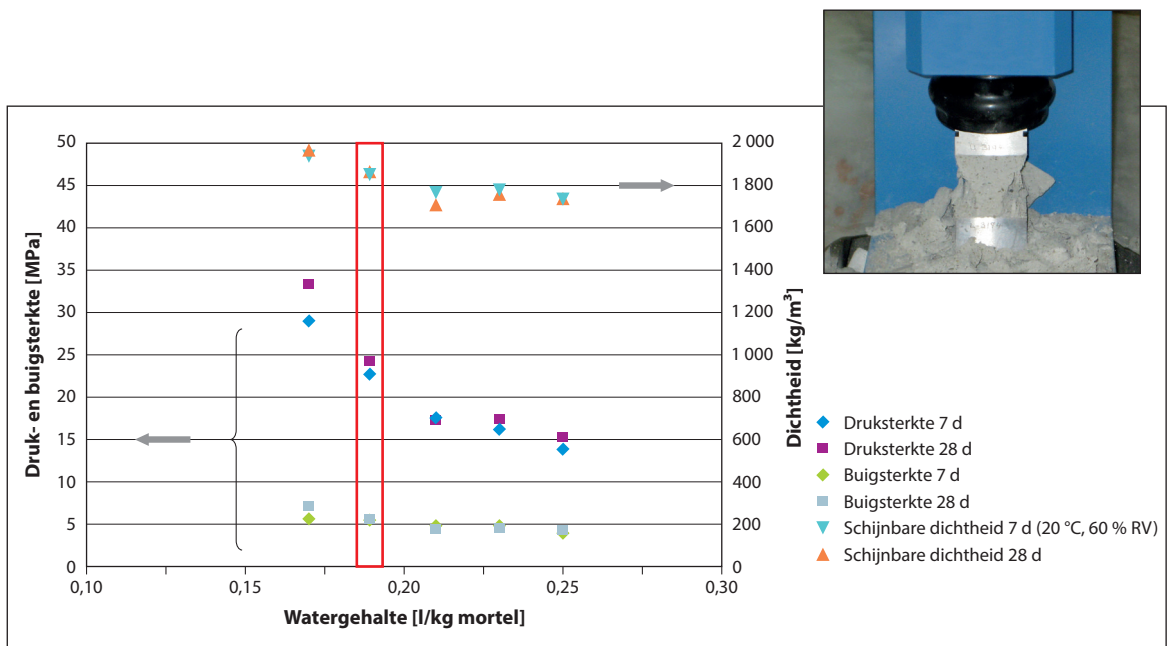
- druksterkte (NBN EN 12808-3);
- buigtreksterkte (NBN EN 12808-3);
- droge en schijnbare dichtheid (NBN EN 12390-7);
- krimp (NBN EN 12808-4);
- wateropslorping (NBN EN 12808-5);
- slijtweerstand – Caponproef (NBN EN 12808-2);
- verwerkbaarheidstijd (NBN EN 13294 en NBN EN 1015-9);
- warmte-uitzetting (NBN EN 1770);
- vorst-dooibestendigheid met dooizouten (CEN/TS 12390-9 + NBN EN 1338, Bijlage D);
- elasticiteitsmodulus onder druk (NBN EN 13412).

3.1 Mechanische sterkte en dichtheid

In eerste instantie werden voor de *cementgebonden voegmortels* de invloed van de samenstelling (watergehalte) en het zelfverdichtende vermogen van de mortel gecontroleerd, zoals geïllustreerd in figuur 4 (blz. 16). Daarbij is, tenzij anders vermeld, met standaardcondities van 20 °C en 60 % relatieve luchtvochtigheid (RV) gewerkt.

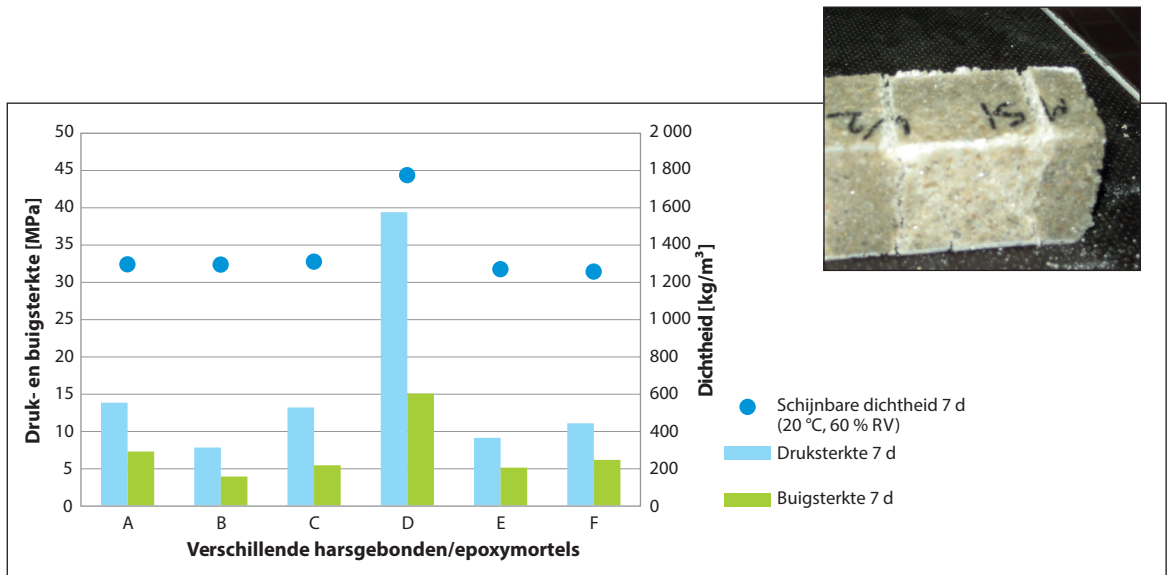
Uit de resultaten blijkt duidelijk dat het watergehalte van cruciaal belang is om de gewenste sterkte te bereiken (zie figuur 4, blz. 16) en dat deze parameter dus bij de uitvoering goed dient te worden gecontroleerd. Anderzijds heeft extra trillen of verdichten van deze (polymeergemodificeerde) cementmortels weinig of geen effect, omdat de meeste een zelfverdichtende vloeï vertonen. Voor het vervolg van de proeven werd telkens het optimale watergehalte volgens de fabrikant toegepast. Uiteraard dient in de praktijk ook te worden nagegaan of het door de fabrikant aanbevolen watergehalte voldoende is om de voegen helemaal te vullen. In het onderzoek werd dan ook een proef ontwikkeld om de toepasbaarheid bij een bepaald watergehalte na te gaan (zie hoofdstuk 5).

Voorts blijkt dat de sterkteopbouw in laboratoriumomstandigheden bij alle geteste cementgebonden mortels na achtentwintig dagen volledig beëindigd is. De mechanische eigenschappen kunnen dus na deze tijd en onder deze condities als constant worden beschouwd. Uit de resultaten blijkt ook dat na zeven dagen uitharding al ongeveer 90 % van de uiteindelijke sterkte wordt bereikt, wat van belang is voor de openstelling van de verharding voor verkeer.



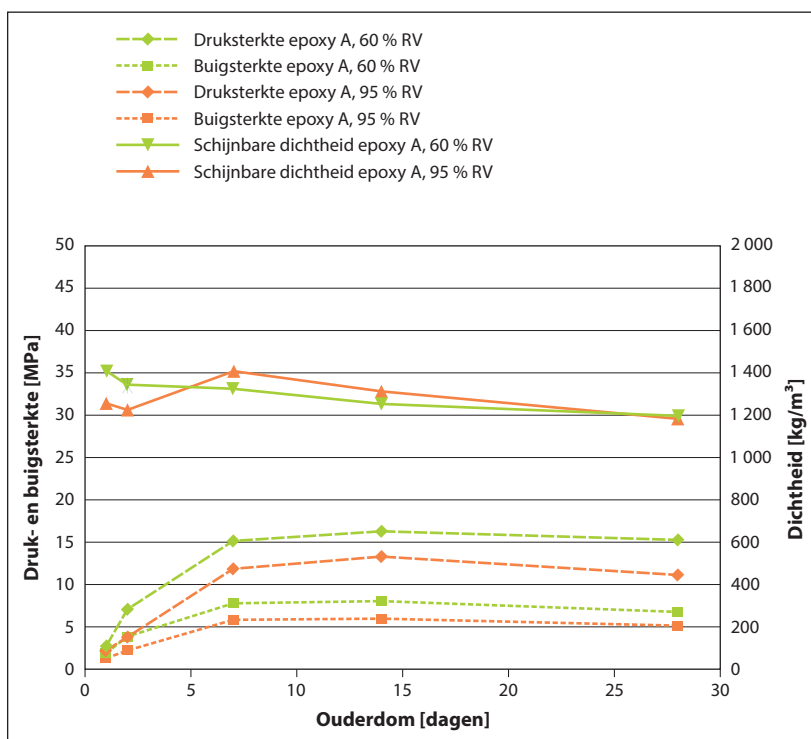
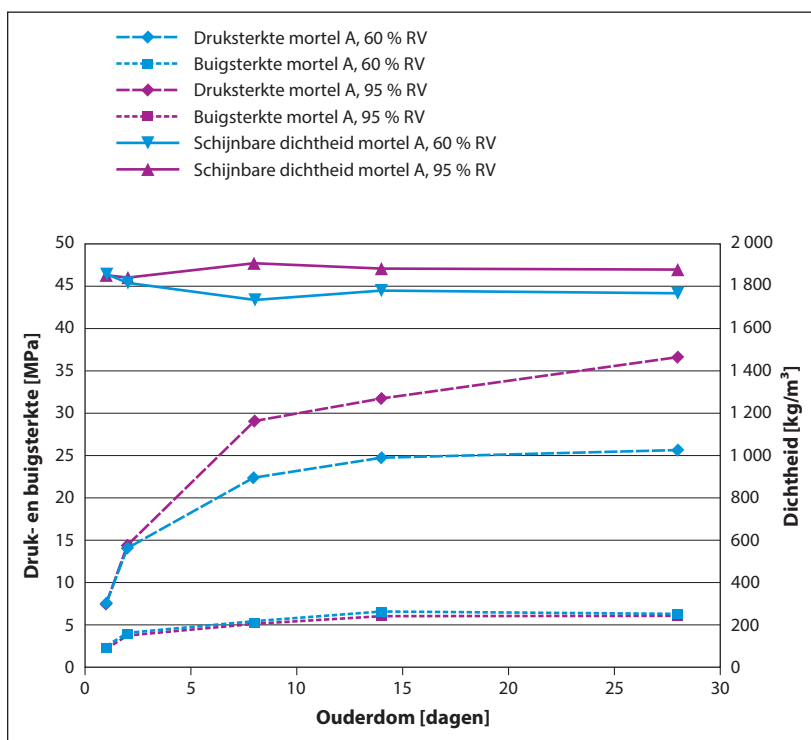
Figuur 4 – Invloed van het watergehalte op de mechanische sterkte van een cementgebonden voegmortel

Voor de (vooral epoxy)harsgebonden materialen liggen de druk- en buigsterkte bij de meeste mortels respectievelijk rond 10 en 5 MPa, buiten één product dat speciaal voor hogere verkeersbelasting is ontworpen (zie figuur 5). Bovendien is de sterkteopbouw bij deze polymeergebonden materialen in laboratoriumomstandigheden al na veertien dagen beëindigd.



Figuur 5 – Mechanische eigenschappen van verschillende epoxyvoegmortels na zeven dagen uitharding bij 20 °C en 60 % RV

Tot slot werd zowel voor de cementgebonden als de met epoxy gebonden voegmortels de invloed van de uithardingscondities nagegaan. Hierbij werd een vergelijking gemaakt tussen enerzijds "laboratoriumomstandigheden" (20 °C en 60 % RV) en anderzijds "vochtige condities" (20 °C en > 95 % RV) vanaf de vervaardiging van de proefstukken (zie figuur 6, blz. 17).



Figuur 6 – Invloed van de uithardingscondities op mechanische eigenschappen van cementgebonden voegmortel (boven) en harsgebonden voegmortel (met epoxy) (onder)

Voor de *cementgebonden* mortels (zie figuur 6 boven, blz. 17) worden logischerwijze onder vochtige condities een hogere druksterkte en dichtheid behaald, aangezien de hydraulische reactie wordt versterkt en een hogere hydratatiegraad van het cement wordt bereikt. Bovendien blijkt dat onder vochtige omstandigheden de mechanische eigenschappen na achtentwintig dagen nog niet constant zijn. Er is dan ook een sterk verschil in druksterkte waar te nemen tussen de verschillende uithardingscondities voor alle geteste cementgebonden mortels. **De standaardcondities (20 °C en 60 % RV) zullen algemeen de situatie op de bouwplaats het best benaderen.**

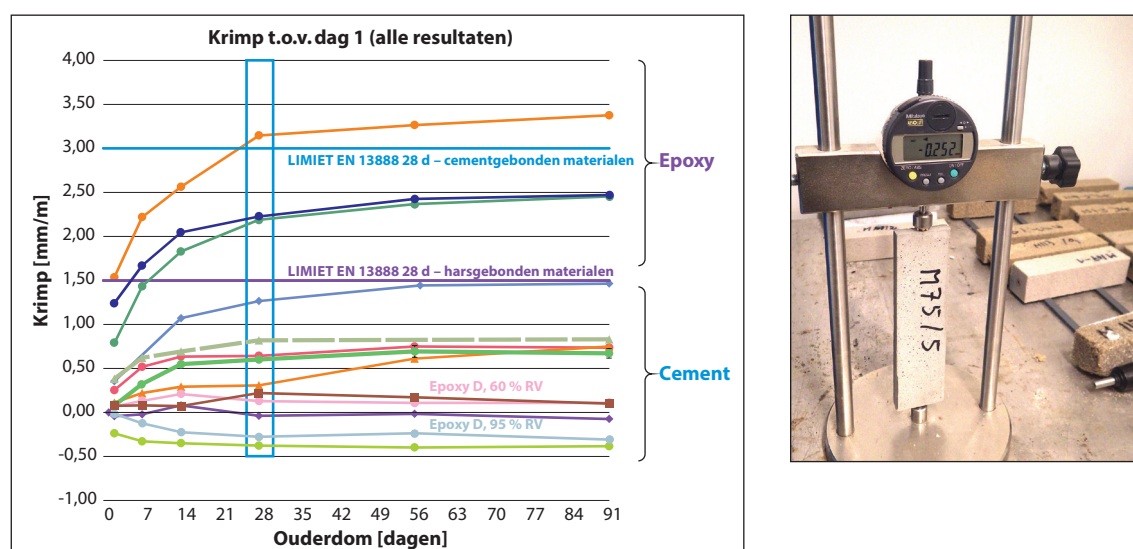
Voor de *harsgebonden* mortels anderzijds is een omgekeerd effect te zien; hier worden betere resultaten verkregen onder “droge” condities (zie bijvoorbeeld figuur 6 onder, blz. 17). Hogere vochtigheid heeft hier een negatieve invloed op de uithardingsreactie (polymerisatie), hoewel het absolute verschil in (zowel druk- als buig)sterkte hier minder duidelijk is dan bij de cementgebonden mortels.

3.2 Krimp

De krimp van de verschillende voegmortels werd bestudeerd door de evolutie van de lengte van prismatische proefstukken in de tijd te meten. Daarbij wordt de krimp [mm/m] telkens uitgedrukt ten opzichte van de aanvangslengte één dag na de vervaardiging van de proefstukken. Bij deze proef wordt bijgevolg geen rekening gehouden met de plastische krimp die optreedt tijdens de eerste 24 h.

Door de hydraulische krimp gedurende de eerste dag kunnen er natuurlijk ook scheuren optreden, zeker bij verwerking bij hoge temperaturen en veel wind. Het is dan ook belangrijk de voegvulling tijdens de eerste 24 h voldoende nat te houden en ze bijvoorbeeld op het einde van de dag nog eens te bevochtigen.

Figuur 7 toont een overzicht van de resultaten en de bijbehorende meetmethode. Daaruit blijkt dat eerst en vooral een groot onderscheid moet worden gemaakt tussen de cementgebonden en harsgebonden materialen. Deze laatste vertoonden namelijk systematisch een grotere krimp dan de cementgebonden mortels, met uitzondering van epoxyvoegmortel D.



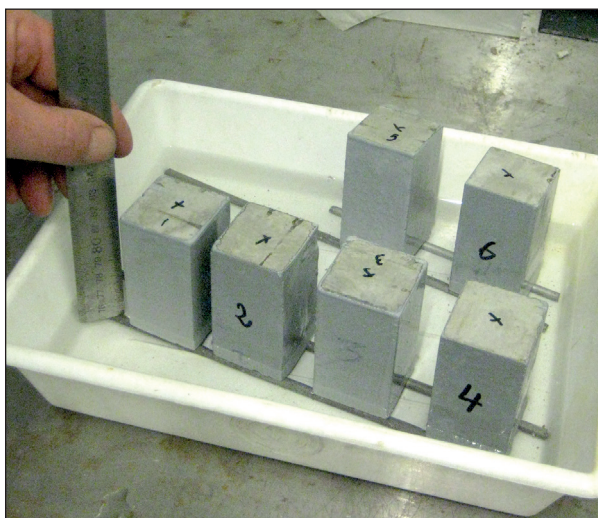
Figuur 7 – Overzicht van krimpmetingen op cement- en harsgebonden voegmortels en bijbehorende meetmethode

Alle beproefde **cementmortels** voldoen onder standaardcondities aan de strengste eis na achtentwintig dagen in norm NBN EN 13888. Vochtige condities zorgen voor een lagere krimp of in sommige gevallen zelfs voor uitzetting (“negatieve” krimp in figuur 7, blz. 18) door vochtopname. Het merendeel van de krimp treedt doorgaans wel in de eerste achtentwintig dagen op.

Bij de beproefde **(epoxy)harsgebonden mortels** ligt de krimp hoger dan bij de cementgebonden materialen (behalve bij epoxy D). Bovendien blijken harsgebonden materialen de eis na achtentwintig dagen in NBN EN 13888 niet te halen. Vermoedelijk is deze krimp wel minder schadelijk, aangezien het risico op scheurvorming door het elastischer gedrag van deze mortels kleiner is.

3.3 Wateropsorping

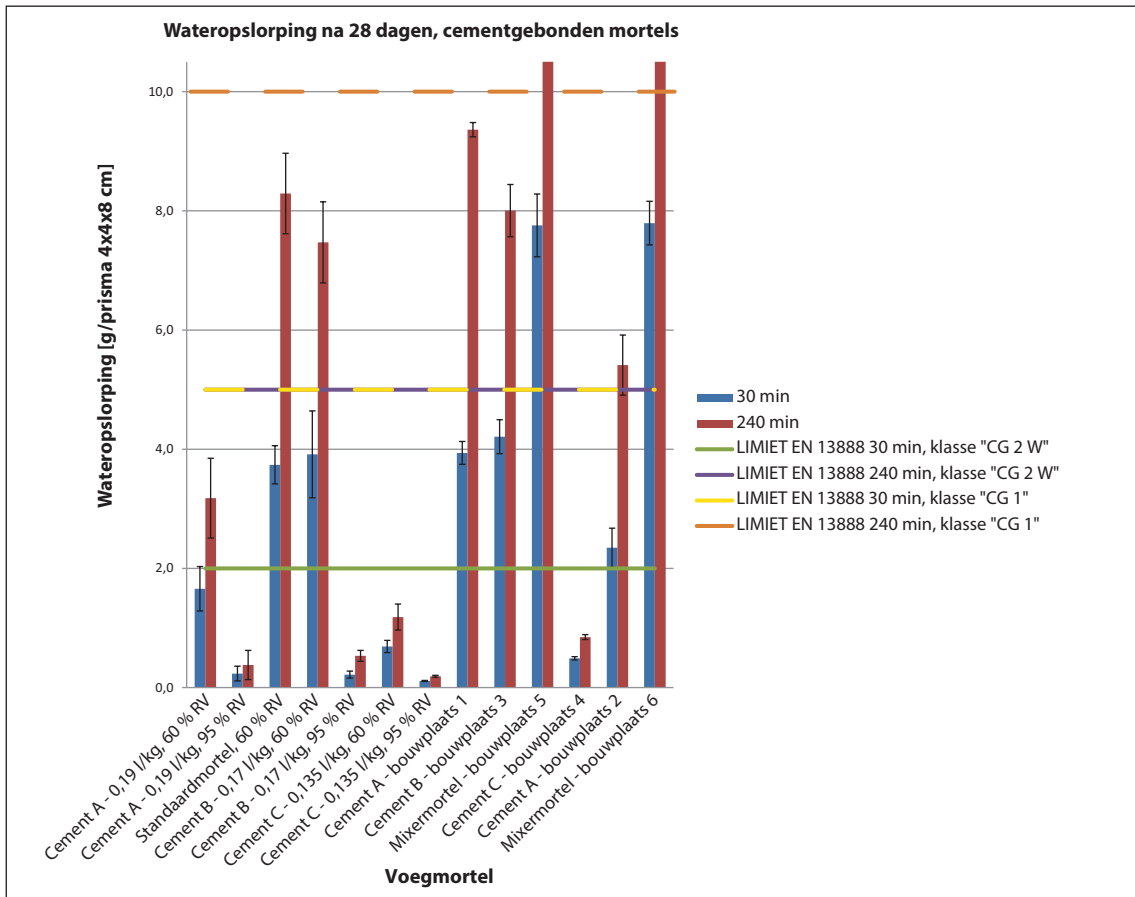
De wateropsorping wordt beproefd volgens NBN EN 12808-5, aan prisma's van 4 x 4 x 8 cm na achtentwintig dagen (zie figuur 8). Ze wordt daarbij uitgedrukt als de hoeveelheid water (in g) die respectievelijk na 30 en 240 min via de onderzijde van het proefstuk is opgenomen (capillaire absorptie).



Figuur 8 – Proefter bepaling van de wateropsorping van voegmortels volgens NBN EN 12808-5

Figuur 9 (blz. 20) geeft een overzicht van alle resultaten voor cementmortels. Tevens worden de verkregen waarden getoetst aan de limieten die in NBN EN 13888 voor gereduceerde waterabsorptie zijn vastgelegd (2 g na 30 min en 5 g na 240 min, klasse “CG 2 W”). Twee van de drie beproefde cementmortels voldoen aan deze strengste limieten volgens NBN EN 13888 bij uitharding onder standaardcondities. Voor optimale, vochtige condities (> 95 % RV) blijft de waterabsorptie van alle geteste cementgebonden mortels zeer laag, doordat een compactere en minder poreuze voegmortel wordt verkregen. Dit onderstreept eens te meer het belang van bevochtigen van de verharding en/of beschermen tegen uitdroging, zeker bij warm weer.

Ter vergelijking zijn in figuur 9 (blz. 20) de resultaten weergegeven voor enkele proefstukken die op de bouwplaats waren vervaardigd (zie hoofdstuk 6). De resultaten liggen hier systematisch hoger dan in het laboratorium (behalve voor de voorverpakte mortel C), doordat in de praktijk meer water wordt toegevoegd om de verwerkbaarheid op de bouwplaats te verhogen. Extra water toevoegen op de bouwplaats is dus niet alleen nadelig voor de druksterkte, maar ook voor de wateropsorping en bijbehorende vorst-dooibestendigheid. Over het geheel genomen liggen alle waarden wel nog onder de minst strenge limieten volgens NBN EN 13888 (5 g na 30 min en 10 g na 240 min, klasse “CG 1”), behalve de wateropsorping voor de proefstukken van de bouwplaatsen 5 en 6. Voor deze mortels, die in een betonmixer werden aangevoerd, is de hogere wateropsorping wellicht te wijten aan toevoeging van water op de bouwplaats om de verwerkbaarheid te verhogen.

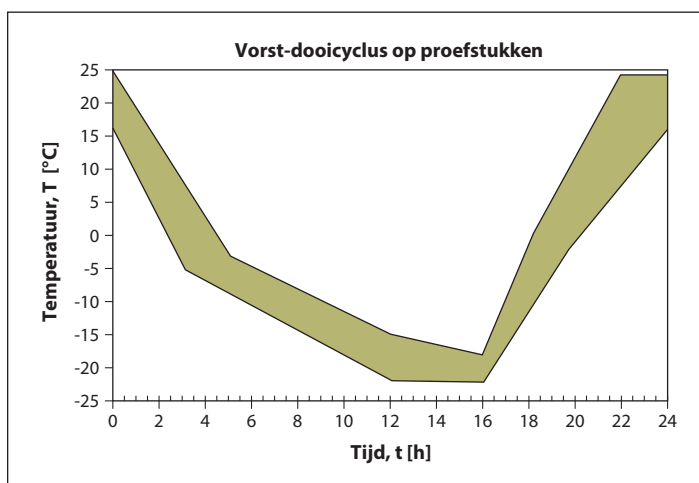


Figuur 9 – Resultaten voor de wateropsorping van cementgebonden voegmortels (standaardmortel = cementmortel aangemaakt volgens norm NBN EN 196-1)

De **harsgebonden** voegmortels vertonen van hun kant enorm hoge waarden voor de wateropsorping (tot 30 g na 240 min), wat logisch is gezien de capillaire absorptie in deze vrij poreuze materialen. Bovendien zijn ze vaak ook enigszins waterdoorlatend, in tegenstelling tot de cementgebonden materialen. **De toegepaste beproevingsmethode is dus zeker niet geschikt voor (epoxy)harsgebonden voegmortels voor bestratingen** en is geen goede maat voor de vorst-dooibestandheid van deze materialen. Beproeven op wateropsorping is hier dan ook niet nodig.

3.4 Vorst-dooibestandheid met dooizouten

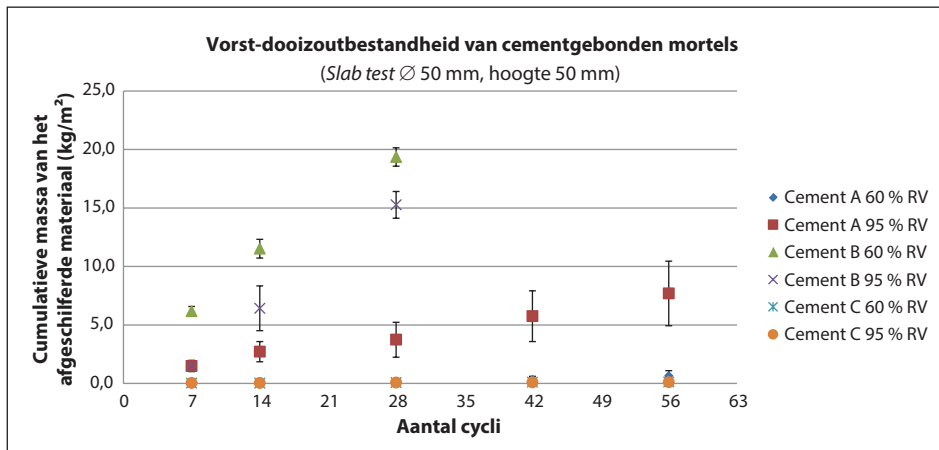
Om de weerstand tegen afschilfering bij vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten na te gaan, werd een aangepaste proef uitgevoerd, gebaseerd op de methode die voor beton [7] (volgens CEN/TS 12390-9) en betonstraatstenen (volgens NBN EN 1338) wordt gebruikt (zie figuur 10).



Figuur 10 – Proef ter bepaling van weerstand tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten, aangepast voor cementgebonden voegmortels

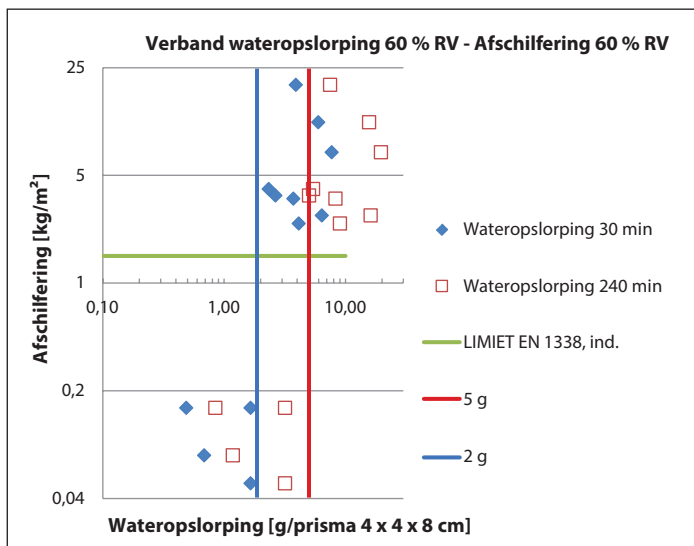
Hierbij wordt op het oppervlak van cilindrische proefstukken met een beperkte diameter een dun laagje (ongeveer 3 mm) water met 3 % dooizout aangebracht. De proefstukken worden vervolgens gedurende zesenvijftig dagen onderworpen aan voorgeschreven vorst-dooicycli. Het materiaal dat ten gevolge van de proef afschilfert, wordt op regelmatige tijdstippen verzameld. De totale hoeveelheid afgeschilferd materiaal geeft vervolgens een idee van de vorst-dooibestandheid van de beproefde mortel.

Uit de resultaten (zie figuur 11, blz. 22) blijkt dat een duidelijk onderscheid kan worden gemaakt tussen proefstukken met een goede of slechte weerstand tegen afschilfering in aanwezigheid van dooizouten (mortel C > mortel A > mortel B). Voor mortel B kan de slechtere vorst-dooibestandheid van het oppervlak mogelijk ook in verband worden gebracht met de zeer snelle uitharding (zie verderop en figuur 15, blz. 25), waardoor mogelijk een poreuzere oppervlakstructuur wordt verkregen.



Figuur 11 – Resultaten voor afschilfering na de vorst-dooiproef bij cementgebonden mortels en blootgesteld oppervlak

Voorts kunnen deze resultaten voor de weerstand tegen afschilfering (bijvoorbeeld cumulatief massaverlies na achtentwintig cycli) ook in verband worden gebracht met de wateropslorping van de cementgebonden voegmortels. In figuur 12 wordt dit bijvoorbeeld geïllustreerd voor alle resultaten (inclusief die van de bouwplaats) verkregen bij bewaring onder 60 % RV en bepaling van de afschilfering op het blootgestelde oppervlak. Voor alle beproefde mortels blijkt daaruit dat als de opslorping beneden de grenzen voor gereduceerde waterabsorptie volgens NBN EN 13888 (2 – 5 g) valt, ook de afschilfering beneden de maximumeis van NBN EN 1338 (1,5 kg/m²) blijft.



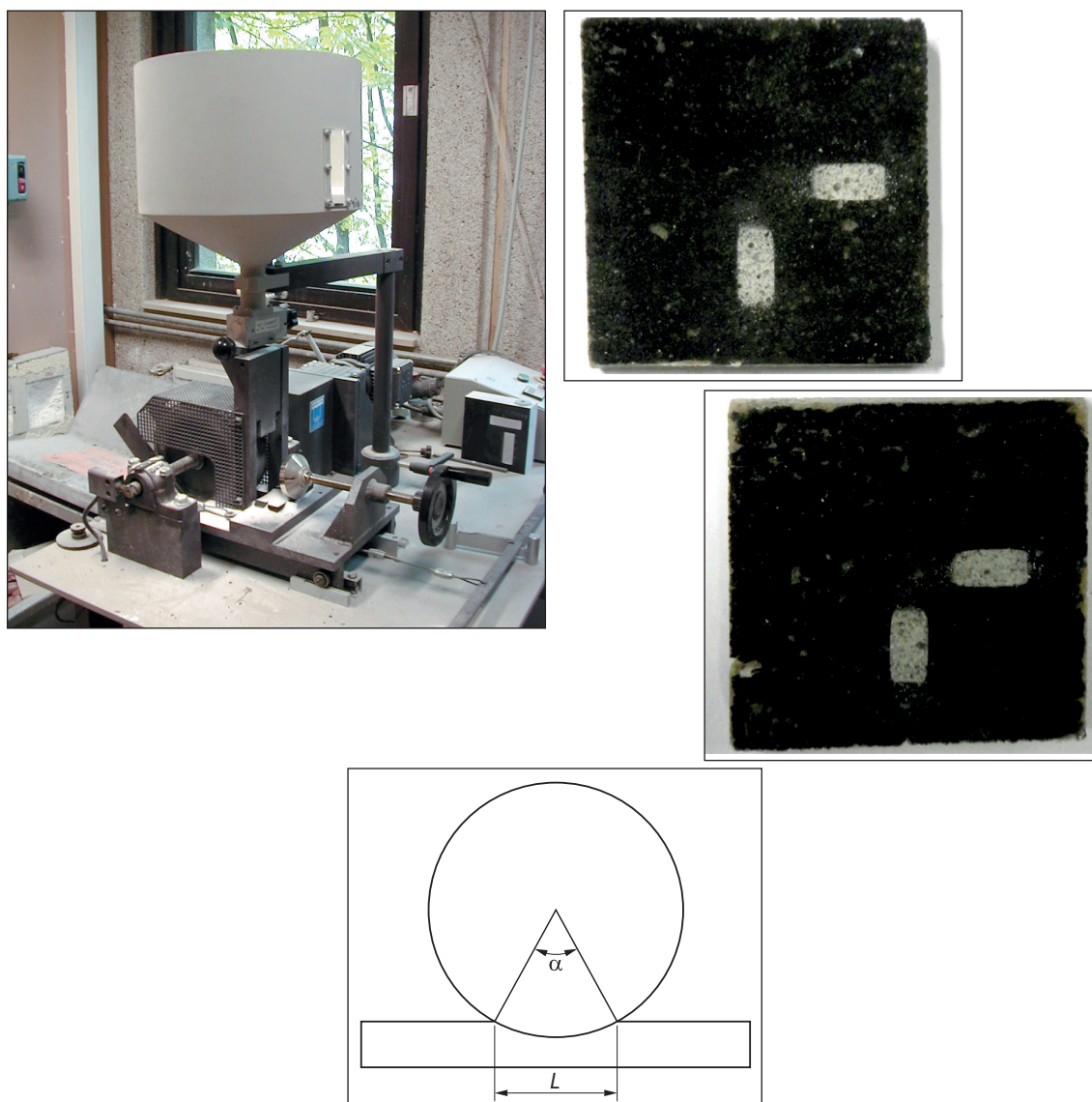
Figuur 12 – Verband tussen wateropslorping na achtentwintig dagen en cumulatief massaverlies na achtentwintig vorst-dooicycli bij aan dooizouten blootgesteld oppervlak van cementgebonden mortels en bij bewaring bij 60 % RV

De wateropslorping is dus een goede maat voor de weerstand tegen afschilfering van cementgebonden voegmortels, die eventueel ook ter controle op de bouwplaats kan worden bepaald. In de ontwerp-fase (vooronderzoek) kunnen beide proeven worden uitgevoerd, waarbij enerzijds nagegaan wordt of de wateropslorping volgens NBN EN 13888 voldoet (< 2 g na 30 min of < 5 g na 240 min) en anderzijds met de aangepaste vorst-dooiproef gecontroleerd wordt of de afschilfering na blootstelling aan vorst-dooicycli met dooizouten onder een bepaalde limiet blijft (< 1,5 – 3,0 of 4,5 kg/m²).

De resultaten voor de afschilfering van de **harsgebonden voegmortels**, bepaald volgens twee licht aangepaste methoden die rekening houden met enige waterdoorlatendheid van deze materialen [8], tonen aan dat alle beproefde **epoxyharsgebonden voegmortels goed bestand zijn tegen vorst-dooicycli met dooizouten ($< 0,15 \text{ kg/m}^2$ afschilfering)**.

3.5 Slijtweerstand

De weerstand tegen afslijting van zowel cement- als harsgebonden mortels werd bepaald volgens norm NBN EN 12808-2. Deze methode bestaat erin per voegmortel twee vierkante plaatjes van $10 \times 10 \times 1 \text{ cm}$ na achtentwintig dagen te onderwerpen aan een Caponslijtproef. Vervolgens worden de door de slijtschijf achtergelaten indrukken opgemeten om het weggesleten volume aan materiaal te berekenen (zie figuur 13).



Figuur 13 – Principe van de Caponproef ter bepaling van de slijtweerstand van voegmortels volgens NBN EN 12808-2

De resultaten voor de zes beproefde voegmortels (drie cementgebonden en drie harsgebonden) zijn weergegeven in tabel 2. Het gemiddelde volume afgesleten materiaal ($V_{gem.}$) kan daarbij worden getoetst aan de eisen die in NBN EN 13888 worden gesteld: maximaal 1 000 mm³ voor cementgebonden mortels en 250 mm³ voor harsgebonden materialen.

	Cement A	Cement B	Cement C	Epoxy A	Epoxy E	Epoxy D
$V_{gem.}$ [mm ³]	89 ± 19,7	161 ± 11,6	58 ± 12,8	96 ± 45,1	114 ± 61,8	77 ± 4,5

Tabel 2 – Resultaten van proeven ter bepaling van de slijtweerstand van voegmortels

Uit deze resultaten kan worden geconcludeerd dat alle geteste voegmortels voor bestratingen zeer slijtvast zijn, ondanks de soms grote variatie die bij sommige van de epoxyvoegmortels aanwezig is. De eis van 250 mm³ wordt ruimschoots gehaald en is ook een goede eis voor de praktijk.

3.6 Warmte-uitzetting

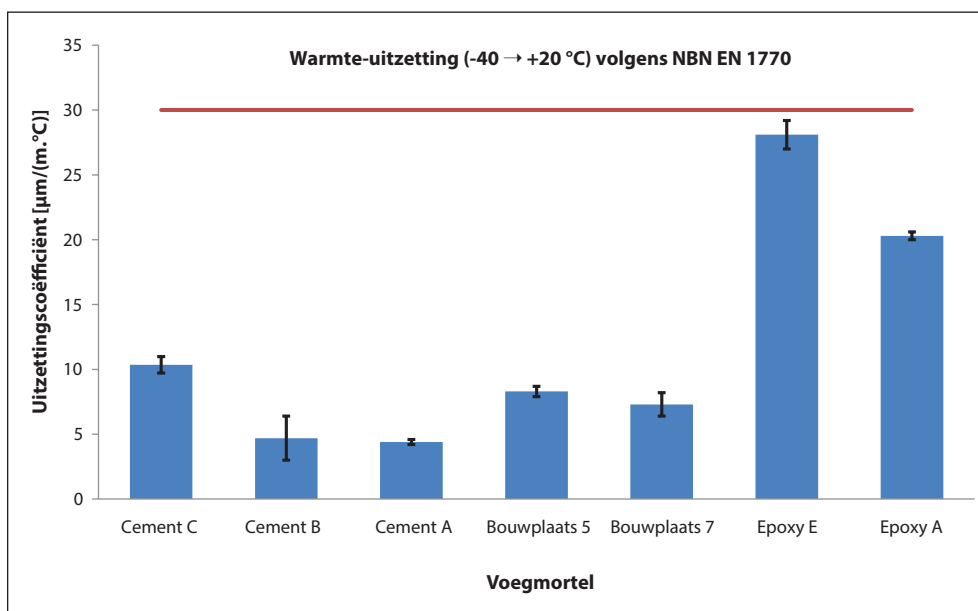
De warmte-uitzetting is van belang om een inschatting te kunnen maken van de thermische bewegingen en de spanningen die als gevolg daarvan kunnen optreden in een bestrating met een bepaald type van steenmateriaal (beton, natuursteen of kleiklinker) en/of in een bepaald type van straatlaag met variërende uitzettingscoëfficiënten. Deze parameter kan worden gebruikt om het aantal en de locatie van mogelijke uitzetvoegen mee te helpen bepalen.

De warmte-uitzettingscoëfficiënt van de voegmortels werd bepaald volgens de alternatieve beproevingsmethode in NBN EN 1770. In een vereenvoudigde procedure werd de lengte van drie prisma's per voegmortel bij achtereenvolgens 20 °C, -20 °C en 40 °C gemeten, om de gemiddelde warmte-uitzettingscoëfficiënt (in $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$) tussen -20 °C en 40 °C te bepalen.

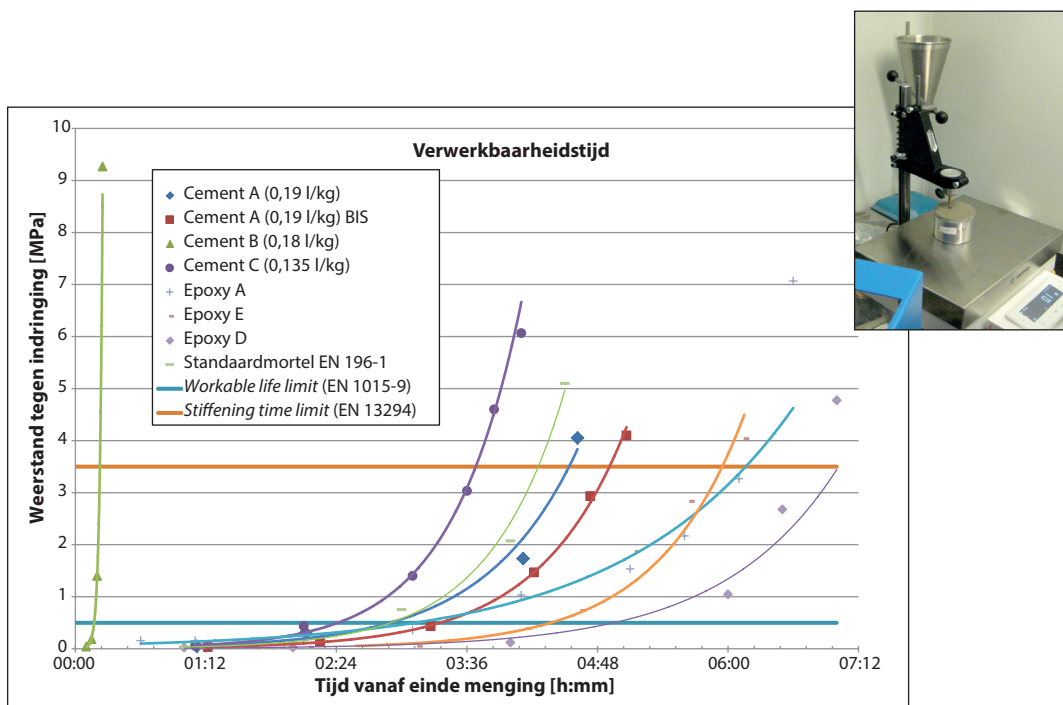
De resultaten voor verschillende gebonden voegmortels zijn weergegeven in figuur 14 (blz. 25) en kunnen bijvoorbeeld worden vergeleken met de eis die in NBN EN 1504-2 aan oppervlakbeschermingssysteem voor beton wordt gesteld, namelijk een maximumwaarde van 30 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ (rode streep in figuur 14, blz. 25). Uit de resultaten blijkt dat alle beproefde voegmortels deze eis halen. De met epoxy gebonden mortels vertonen weliswaar een merkbaar hogere uitzettingscoëfficiënt en voor de cementgebonden materialen worden zowel in het laboratorium als op de bouwplaats vergelijkbare resultaten van 5 tot 10 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ gehaald. *Ter vergelijking: de uitzettingscoëfficiënt van beton ligt rond 10 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ en die van natuursteen tussen 1 en 16 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$.*

3.7 Verwerkbaarheidstijd

Tot slot is gekeken naar de verwerkbaarheidstijd van de voegmortels, die verderop ook nog bij de toepasbaarheid aan bod komt (zie hoofdstuk 6). Hier werd de verwerkbaarheidstijd bepaald volgens de procedures beschreven in NBN EN 13294 (voor reparatiemortels) en NBN EN 1015-9 (voor metselmortels). Deze beproevingsmethode bestaat erin een staaf met genormaliseerde geometrie periodiek tot een bepaalde diepte in de verse mortel te duwen en vervolgens de weerstand tegen indringing af te lezen op een weegschaal. De evolutie van de weerstand tegen indringing (omgerekend in N/mm²) als functie van de tijd geeft dan een idee van de verwerkbaarheidstijd van de verse mortel (zie figuur 15, blz. 25).



Figuur 14 – Gemiddelde warmte-uitzettingscoëfficiënt [in $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$] tussen -20°C en $+40^\circ\text{C}$ van verschillende cement- en harsgebonden voegmortels, bepaald volgens NBN EN 1770



Figuur 15 – Resultaten van proeven ter bepaling van de verwerkbaarheidstijd van voegmortels volgens NBN EN 13294 en NBN EN 1015-9 (standaardmortel = cementmortel aangemaakt volgens norm NBN EN 196-1)

Bij deze resultaten valt meteen op dat cementgebonden mortel B zeer snel uithardt, zeker in vergelijking met de andere voegmortels. Bij toepassing van dergelijke voegmortel op de bouwplaats dient dan ook de nodige aandacht te worden besteed aan tijdig verwerken. Voorts harden de (epoxy)harsgebonden voegmortels doorgaans langzamer uit dan de cementgebonden materialen, maar er zit uiteraard ook een zekere variatie op deze metingen (zie twee metingen voor cementmortel A).

Op basis van de limieten gesteld in respectievelijk NBN EN 1015-9 en NBN EN 13294 kunnen dan ook de zogenoemde *workable life* (tijd tot een weerstand van 0,5 N/mm²) en de *stiffening time* (tijd tot weerstand van 3,5 N/mm²) van de voegmortels worden berekend (zie tabel 3). Deze hebben echter enkel betrekking op de verwerkbaarheid en de beschikbare tijd voor verwerking van de voegmortels; het openstellen van de verharding zal veeleer van de behaalde sterkte als functie van de tijd afhangen.

	Cement A	Cement B	Cement C	Epoxy A	Epoxy E	Epoxy D
<i>Workable life</i> (0,5 N/mm ²)	3h08	10'	2h25	3h07	4h22	4h57
<i>Stiffening time</i> (3,5 N/mm ²)	4h42	15'	3h41	6h10	5h56	7h01

Tabel 3 – Berekening van de *workable life* en de *stiffening time* van voegmortels uit de grafiek van figuur 15, blz. 25

3.8 Andere eigenschappen en nieuwere materialen

Voor sommige van de nieuwere voegvullingen kunnen ook andere eigenschappen van belang zijn voor de karakterisering van het materiaal, zoals:

- UV-bestendigheid van harsgebonden mortels (vooral epoxy's);
- invloed van hygrothermische cycli (bijvoorbeeld onderdompeling in water) op de eigenschappen, bijvoorbeeld voor eencomponentmaterialen.

Wat **UV-veroudering** betreft, is een vergelijking gemaakt tussen gelijktijdig aangemaakte prisma's die gedurende achtentwintig dagen bij standaardcondities (20 °C en 60 % RV) werden bewaard en prisma's die na zeven dagen uitharding onderworpen werden aan cycli van 8 h UV-verlichting gevolgd door 16 h donkere kamer.

Dit is een gelijksoortige procedure als die welke eerder werd toegepast in pre-normatief onderzoek van het OCW ter bepaling van de duurzaamheid van gekleurde asfaltverhardingen [9]. De resultaten tonen aan dat er **geen significant effect op de mechanische eigenschappen** is; integendeel, de sterkte lijkt na UV-veroudering zelfs iets hoger. Visueel is wel een kleurverschil te merken, zoals geïllustreerd in figuur 16 rechts, blz. 27.

Alle proeven ter bepaling van mechanische eigenschappen van gebonden voegmortels kunnen ook op **polymeergebonden eencomponentvoegmortels** worden toegepast. Vochtige condities hebben hier echter een duidelijk negatieve impact op de resultaten (zie figuur 17, blz. 27). Voorts blijkt dat de beproefde eencomponentmortel een stuk minder goed scoort dan tweecomponentenvoegmortels (bijvoorbeeld voor druksterkte, slijtweerstand) en aanzienlijk meer tijd nodig heeft om volledig uit te harden.

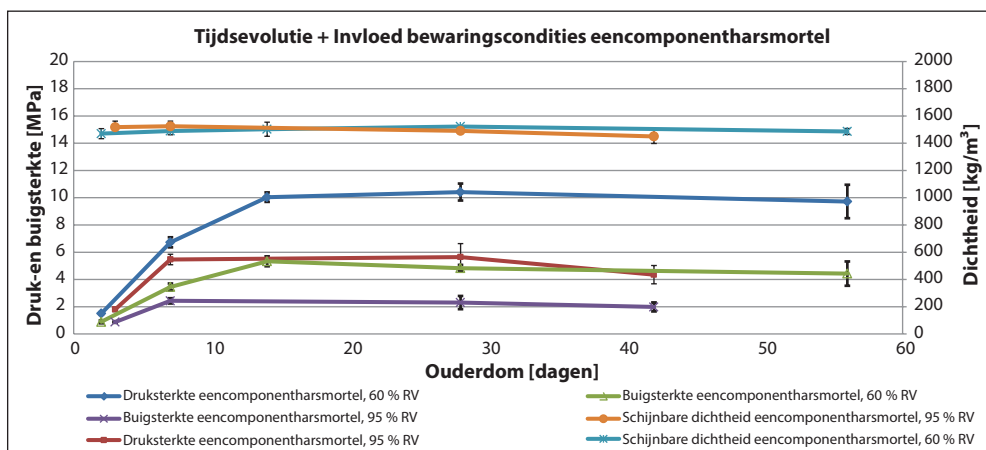


Figuur 16 – UV-veroudering van harsgebonden voegmortels in een klimaatkamer (links) en vergelijking tussen al dan niet aan UV blootgestelde proefstukken (rechts)

Als besluit kunnen we dus stellen dat deze eencomponentvoegmortels beter **niet onder permanente natte condities** kunnen worden gebruikt en enkel voor toepassingen met een **lagere verkeersbelasting** geschikt zijn, omdat zij minder mechanische sterkte ontwikkelen dan tweecomponenten- of cementgebonden mortels.

Ten slotte is in het onderzoek ook geprobeerd proefstukken te vervaardigen met de nieuwere materialen, meer bepaald **polymeerzanden** en **joint sealers**. Tot op heden is het echter niet gelukt proefstukken te maken die goed en reproduceerbaar genoeg zijn om er mechanische eigenschappen aan te bepalen. Bovendien zijn deze materialen ook vrij plastisch en lenen zij zich daardoor ook moeilijker voor metingen met de beschikbare proefopstelling ter bepaling van de druksterkte en driepuntsbuiging.

Aangezien deze materialen in de praktijk echter nog niet veel voor openbare bestratingen worden gebruikt, werd binnen het tijdsbestek van dit onderzoek besloten geen verdere proeven meer op deze materialen uit te voeren. **Als richtlijn wordt voorlopig dan ook aangenomen dat zij enkel in weinig belaste bestratingen kunnen worden toegepast.**



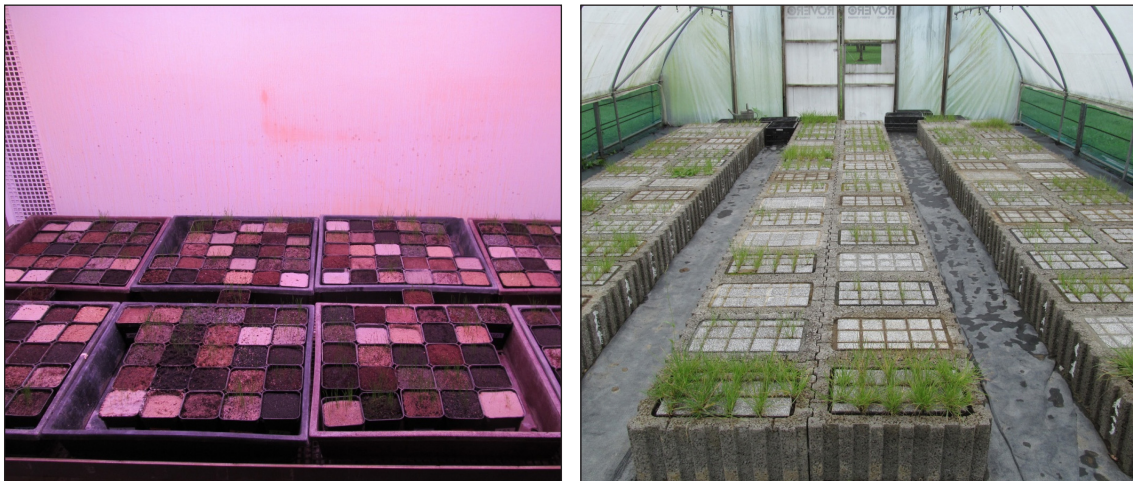
Figuur 17 – Evolutie in de tijd van de mechanische sterkte en de dichtheid van een eencomponentvoegmortel, en invloed van uithardingscondities op deze evolutie



Hoofdstuk 4

Onkruidwerend/-remmend vermogen

De proeven in verband met onkruidwerend/-remmend vermogen werden uitgevoerd door de Universiteit Gent (UGent). Evenals in het voorgaande onderzoek naar onkruidbeheer [2] vonden daarbij zowel pottenproeven als een minibestringsproef plaats (zie figuur 18). In beide proeven werden vijftien verschillende voegvullingen getest, al dan niet met organisch materiaal verontreinigd. De proeven met organische verontreiniging simuleerden de verontreiniging van de voeg die ook in de praktijk zou plaatsvinden. De pottenproeven met enkel voegvulling werden uitgevoerd om na te gaan of verschillende neerslagregimes een invloed hebben op het onkruidwerende vermogen van een voegvulling. Daarnaast werd de minibestringsproef opgezet om na te gaan of pottenproeven wel een goede benadering geven van het onkruidremmende vermogen van voegvullingen in situ.



Figuur 18 – Opstelling voor pottenproeven (links) en minibestringsproef (rechts) bij de UGent, ter bepaling van het onkruidwerende vermogen van voegvullingen

Als algemene conclusie kunnen we stellen dat de klimaatkamerproef ("pottenproef") een snelle, reproduceerbare en goedkope(re) testmethode vormt voor de bepaling van het onkruidwerende vermogen van voegvullingen in situ, indien ten minste aan een aantal voorwaarden voldaan is:

- twee verontreinigingsgraden: 0 vol-% en 20 vol-%;
- twee neerslagregimes: vochtig (optimale situatie voor onkruidgroei) en droog;
- vier plantensoorten, waaronder twee grassen (bijvoorbeeld *L. perenne* en *P. annua*) en twee dicotylen (bijvoorbeeld *T. officinale* en *C. fontanum*);
- proeven onder vaste, gecontroleerde omstandigheden, dat wil zeggen in een klimaatkast;
- gebruik van droge bovengrondse biomassa als evaluatieparameter;
- gebruik van minstens twee referentiematerialen (bijvoorbeeld gedroogde teelaarde en gekalibreerd wit zand).

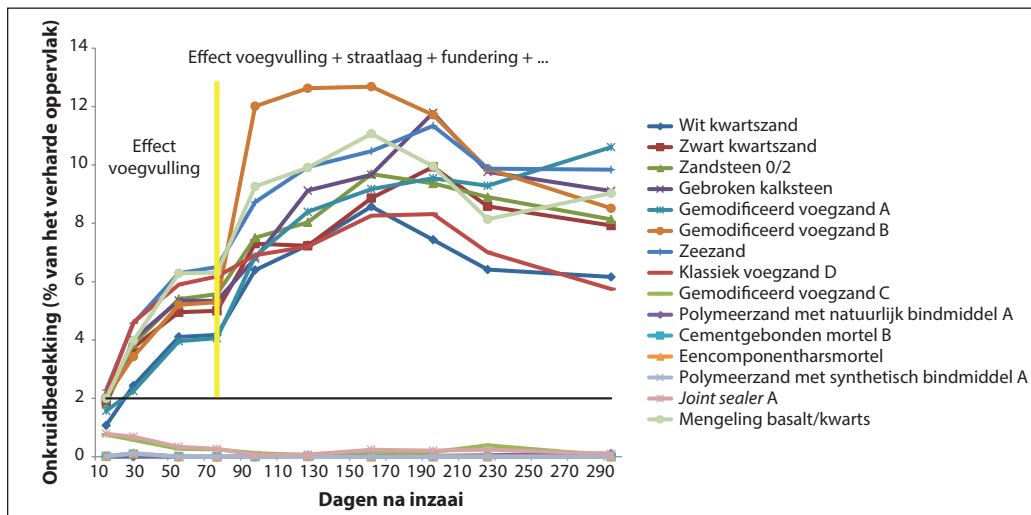
Daarnaast is het inderdaad mogelijk de voegvullingsmaterialen op basis van de resultaten van deze proef in verschillende "klassen van onkruidwerend vermogen" te verdelen, met behulp van een soort gewogen scoresysteem dat door de onderzoekers van de UGent is ontworpen en in tabel 4 (blz. 30) voor de *ongebonden* materialen geïllustreerd wordt.

	Organische verontreiniging (vol-%)/ Neerslagregime				Score (/20)	SE*	Score met SE*
	0/ Vochtig	0/ Droog	20/ Vochtig	20/ Droog			
Voegvulling							
Wit kwartszand	B	B	D	C	13	0,48	12
Zwart kwartszand	B	A	C	C	15	0,48	14
Zandsteen 0/2	B	C	D	C	12	0,41	11
Gebroken kalksteen 0/2	B	B	C	C	14	0,29	14
Zeezand	B	B	D	B	14	0,50	13
Mengsel basalt/ kwarts 0/1	B	B	D	D	12	0,58	10
Gemodificeerd voegzand A	B	A	B	A	18	0,29	18
Gemodificeerd voegzand B	B	A	C	D	14	0,65	12
Klassiek voegzand D	B	B	D	E	11	0,75	9
Gemodificeerd voegzand C	A	A	A	A	20	0,00	20
Polymeerzand met natuurlijk bindmiddel A	A	A	A	A	20	0,00	20

* SE = Standard error/standaardafwijking

Tabel 4 – Classificatiesysteem voor onkruidwerend vermogen van voegvullingsmaterialen

Bij de *gebonden* materialen (zoals cement- en harsgebonden mortels, polymeerzanden en *joint sealers*) is het onkruidremmende vermogen vooral aan het dichtmaken van de voeg toe te schrijven. Om blijvende preventie van onkruidgroei te garanderen, dienen hier echter mogelijk bijkomende limieten voor de prestatie-eisen te worden gesteld: beperktere krimp, verminderde wateropsorping, bestandheid tegen veegmachines enz. Het onkruidwerende vermogen zal hier dus aan de mechanische eigenschappen van de voegvullingen moeten worden gelinkt.



Figuur 19 – Onkruidbedekking (% van het verharde oppervlak) van miniverhardingen ingevoegd met vijftien organisch (met 20 vol-% teelaarde) verontreinigde voegvullingen (minibestratingsproef). De streep bij 2 % geeft de algemeen aanvaarde veronkruidingsdrempel in België weer

Ten slotte dient ook te worden benadrukt dat, zoals bleek uit de resultaten op langere termijn in de minibestratingsproef (zie figuur 19), de invloed van de voegvulling niet allesbepalend is en dat vijftienzestig dagen na inzaai bijvoorbeeld ook de straatlaag een effect heeft op de onkruidgroei. Het totaalconcept van een bestrating en de onkruidwerende eigenschappen van de verschillende samenstellende lagen (voegvulling, straatlaag, fundering) blijven bepalend voor de te verwachten onkruiddruk [2].



Hoofdstuk 5

Functiegerelateerde eigenschappen

Hierbij gaat het onder meer om proeven ter bepaling van de hechtsterkte tussen straatsteen en voegmortel, de waterdoorlatendheid van polymeergebonden voegmortels en de toepasbaarheid en/of erosiegevoeligheid van het voegvullingsmateriaal, waarbij de interactie met de straatsteensoort en/of de bestrating zelf (bijvoorbeeld voegbreedte) van belang kan zijn.

5.1 Hechtsterkte

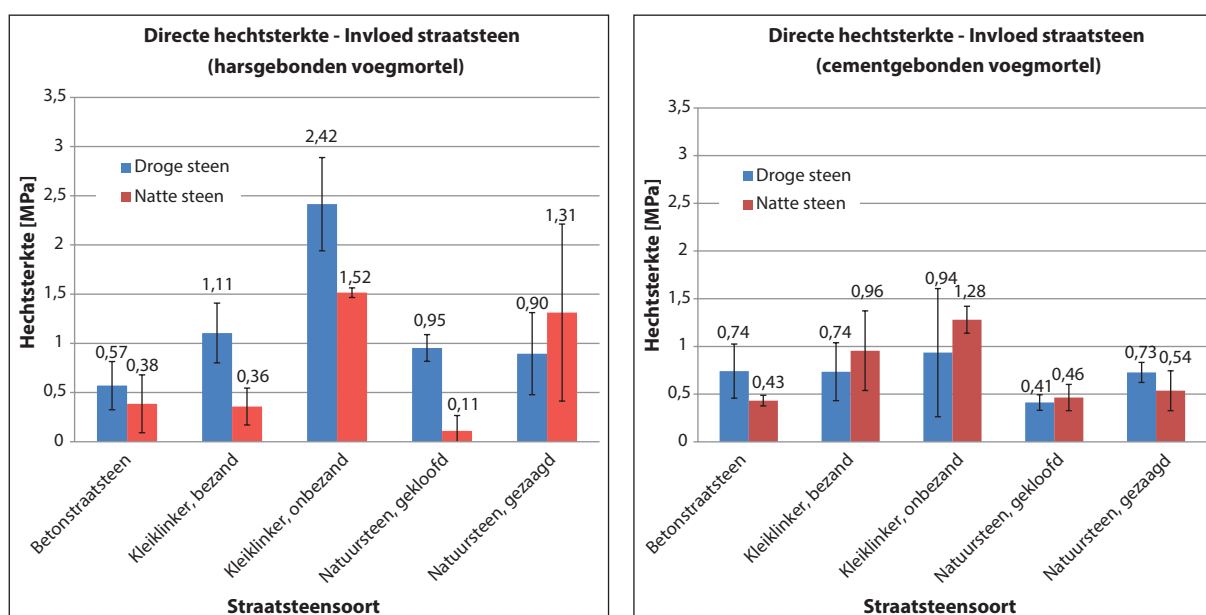
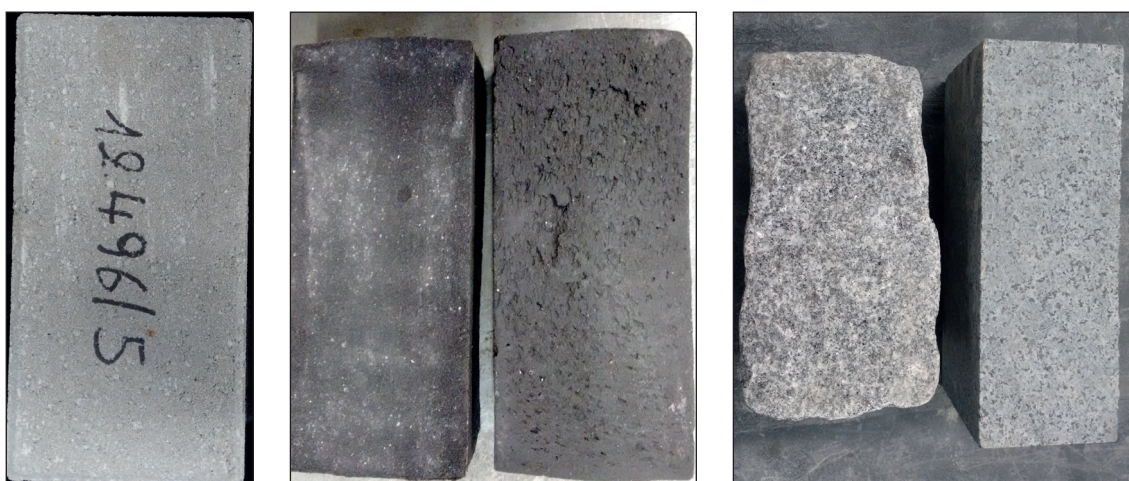
Om de hechting tussen steen en voegmortel te bepalen, kunnen directe trekproeven worden verricht volgens NBN EN 1542 (zie figuur 20), waarbij aan de zijkant van de straatstenen een laagje voegmortel van ongeveer 10 mm wordt aangebracht. Vervolgens wordt na eenentwintig dagen uitharding in dit laagje voegmortel geboord tot op een diepte van 15 ± 5 mm in de straatsteen, waarna de trekkopjes verwijnd worden. De trekproef zelf vindt na achtentwintig dagen plaats.



Figuur 20 – Proeven ter bepaling van de directe hechtsterkte tussen straatsteen en voegmortel volgens NBN EN 1542

Wegens de lage hechtsterkten (vooral bij betonstraatstenen waargenomen) en de grote invloed van kleine variaties op de rechtlijnigheid van de trekbelasting [10] werd ook een **aangepaste methode** ontwikkeld, waarbij gebruik wordt gemaakt van een conische ring in de verse mortel en/of een lagere treksnelheid wordt gehanteerd. Deze aangepaste methode dient bij **lage verwachte waarden voor de directe hechtsterkte (< 0,5 MPa)** te worden toegepast.

Bij de hechtproeven werd bovendien ook de invloed van de straatsteensoort (betonstraatsteen, kleiklinker, natuursteen) en van al of niet vooraf bevochtigen van de straatsteen nagegaan (zie figuur 21 - blz. 34, respectievelijk voor een harsgebonden en een cementgebonden voegmortel). Hieruit bleek duidelijk dat de straatsteensoort en de bijhorende oppervlakafwerking (bezand/onbezand voor kleiklinkers, gezaagd/gekloofd voor natuursteen) een aanzienlijke invloed kunnen hebben op de uiteindelijke hechtsterkte. Het effect van bevochtigen van het steenoppervlak is vooral voor de epoxygebonden mortels duidelijk, waar doorgaans hogere waarden worden verkregen bij een "droge steen". **Aangezien straatstenen in de praktijk bij het invoegen altijd eerst bevochtigd moeten worden voor een betere verwerking van de mortel, is het echter aangewezen de proef op een natte steen uit te voeren.**



Figuur 21 – Invloed van de straatsteensoort (beton, klei, natuursteen) en de bijbehorende oppervlakafwerking (bezand, onbezand, gekloofd, gezaagd) op de directe hechtsterkte met harsgebonden mortel A en cementgebonden mortel B

Voor de cementgebonden mortels is de invloed van bevochtigen van de steen dan weer verrassend genoeg niet eenduidig en hangt het effect (positief of negatief) van de straatsteensoort, de oppervlakafwerking van de steen en zelfs de voegmortel zelf af.

Voor alle beproefde combinaties van straatsteensoort en voegmortel, die zowel onder droge als natte condities werden getest, werd in slechts twee gevallen breuk in de steen vastgesteld (*epoxy D* op *droge betonstraatsteen* en op *droge gekloofde natuursteen*). In deze gevallen was de hechtsterkte tussen steen en mortel dus hoger dan de treksterkte van de steen zelf; zulke hoge spanningen zullen in de praktijk uiteraard niet optreden. In alle andere gevallen trad de breuk telkens in het hechtvlak tussen straatsteen en voegmortel op.

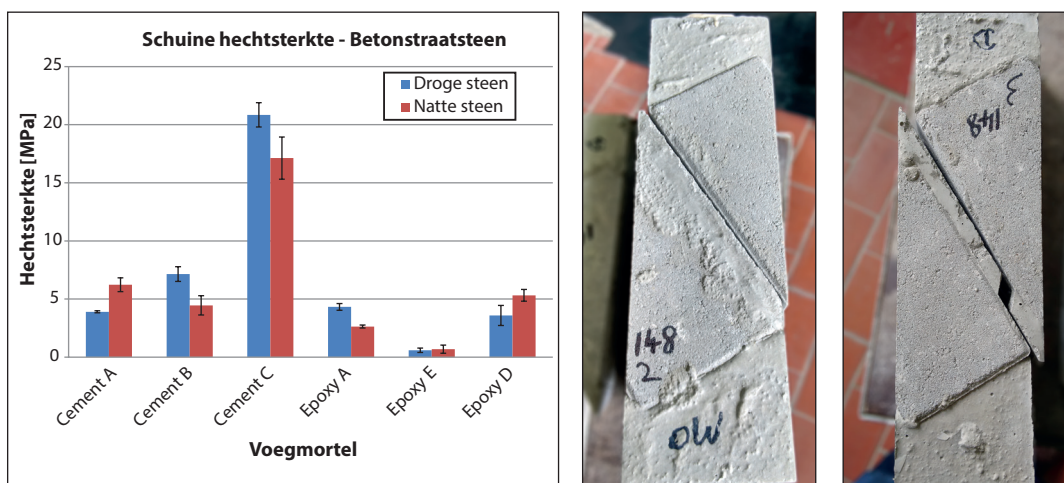
Als alternatief voor de meting van de directe hechtsterkte kan ook de proef ter bepaling van de zogenoemde "schuine hechtsterkte" worden gebruikt, gebaseerd op de *Slant shear test* volgens NBN EN 12615:1999 (zie figuur 22, blz. 35). In deze proef treedt een combinatie van schuif- en trekspanningen op, wat realistischer weergeeft wat zich in de praktijk voordoet.



Figuur 22 – Proeven ter bepaling van de schuine hechtsterkte tussen straatsteen en voegmortel, gebaseerd op de Slant shear test volgens NBN EN 12615

De voegmortel wordt hierbij tussen twee op maat gezaagde straatstenen aangebracht onder een hoek van 30° met de verticaal, waarbij vervolgens bovenaan een drukkracht wordt uitgeoefend tot in het schuine hechtvlak een breuk ontstaat. De afmetingen van de aldus samengestelde proefstukken bedroegen 100 x 80 x 400 mm, met een laagje voegmortel van ongeveer 10 mm.

De resultaten die zowel onder droge als onder natte condities met betonstraatstenen zijn verkregen, zijn weergegeven in figuur 23. Hieruit blijkt eerst en vooral dat de schuine hechtsterkte veel hogere waarden oplevert, doordat de proefstukken aan afschuifkrachten in plaats van aan directe trek worden onderworpen. Bovendien worden ook veel constantere resultaten verkregen, met relatief minder spreiding in het meetresultaat. De breuk trad daarbij steeds ter hoogte van het hechtvlak (onder 30°) op.



Figuur 23 – Resultaten voor de schuine hechtsterkte tussen betonstraatsteen en verschillende voegmortels, al dan niet na vooraf bevochtigen van de straatsteen

Uiteraard is deze proef technisch gezien moeilijker uit te voeren dan de directe trekproef (*pull-off*), maar ze kan mogelijk in tweede instantie worden aangewend wanneer de directe trekproef niet voldoet om zekerheid te verkrijgen over de hechting tussen straatsteen en voegmortel.

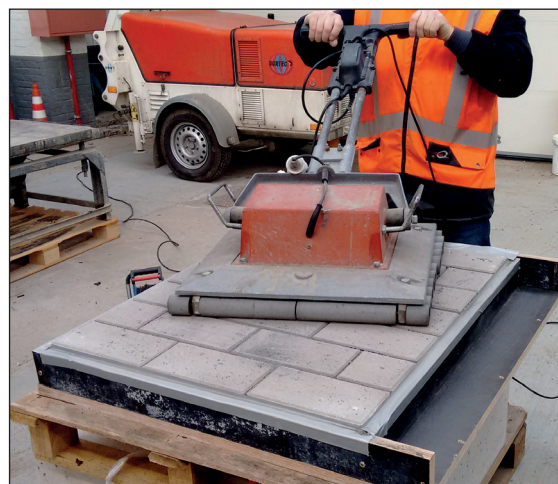
5.2 Toepasbaarheid van voegvullingsmaterialen

Een belangrijke voorwaarde voor het goede functioneren van een voeg is dat deze geheel met voegmateriaal is gevuld. Tot op heden bestaat er geen gestandaardiseerde beproevingsmethode om de mogelijkheid tot inbrengen van voegvullingsmaterialen na te gaan.

In het onderzoek naar de praktische toepasbaarheid van (zowel ongebonden als gebonden) voegmaterialen werd een aantal proefbakken (van ongeveer 65 x 77 cm) met betonstraatstenen vervaardigd, waarbij voor het inbrengen van de ongebonden voegmaterialen een speciale trilplaat werd gebruikt.



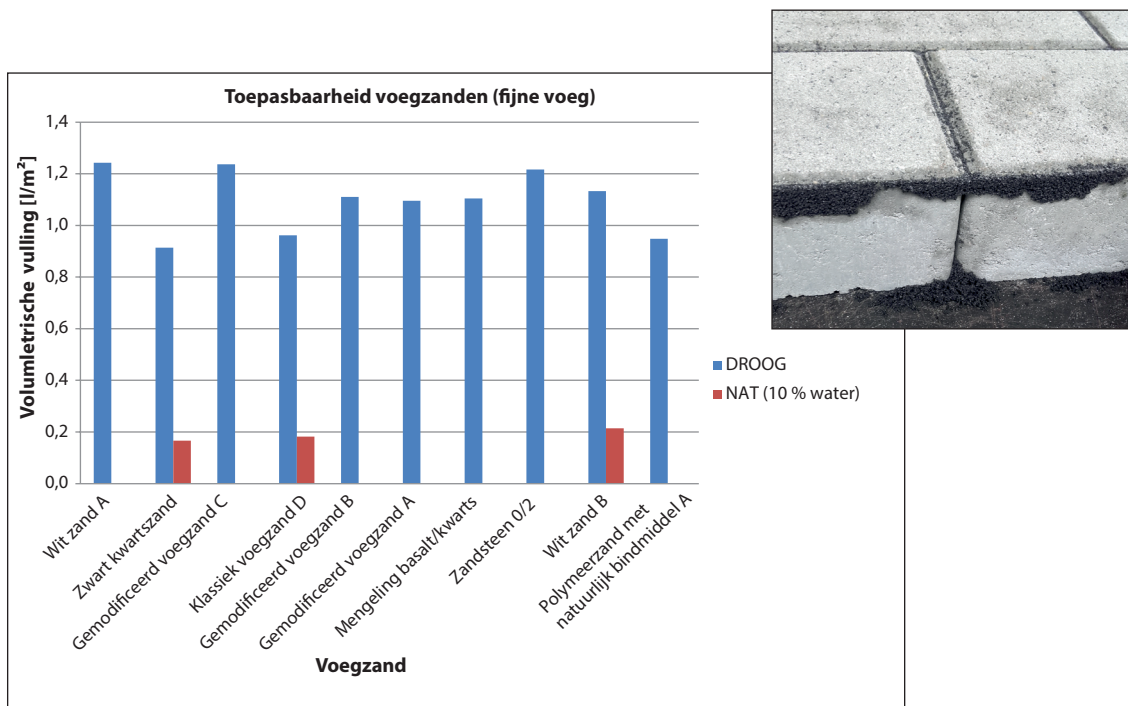
Figuur 24 – Proefbakken met trilplaat ter bepaling van toepasbaarheid van voegmaterialen



Voor de *ungebonden voegvullingen* werden twee proefbakken gebruikt: één met een voegbreedte van 4 mm voor de grovere materialen (steenslag 2/4 of 0/4) en één met een zeer smalle voeg (1 tot 2 mm) door de straatstenen tegen elkaar te leggen, voor de fijnere voegzanden.

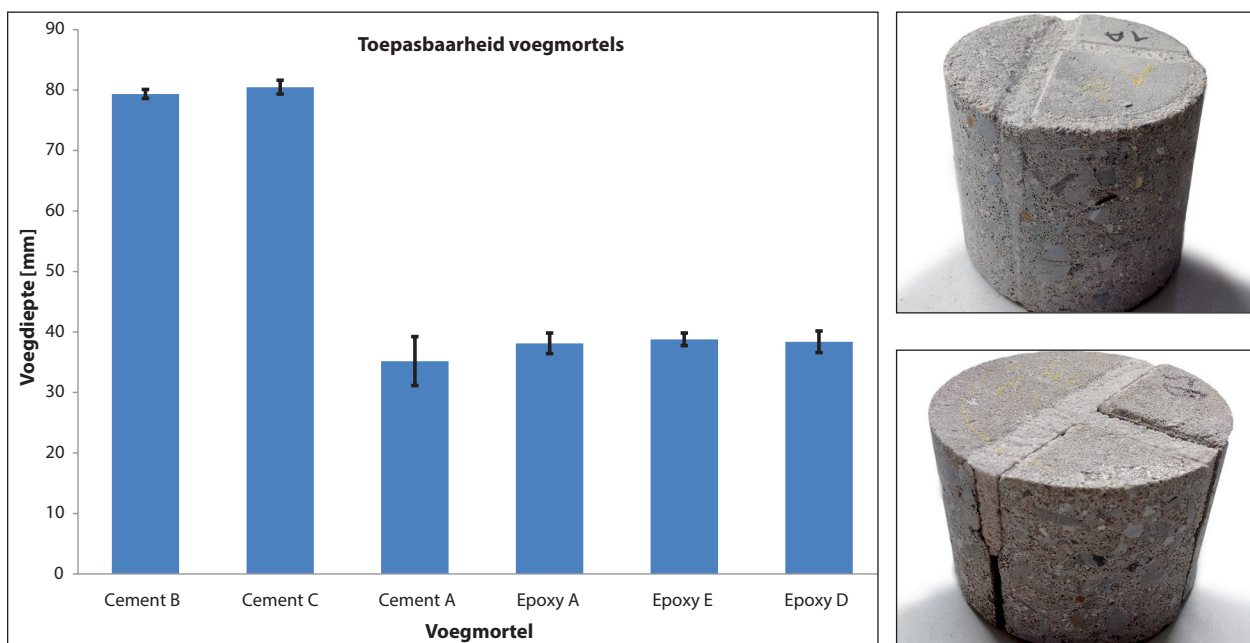
De resultaten voor de toepasbaarheid van de verschillende beproefde voegzanden in de **fijne** voeg staan afgebeeld in figuur 25, blz. 37. Daaruit blijkt dat er inderdaad lichte verschillen qua vulling van de voeg optreden, maar wellicht te klein om echt een duidelijk onderscheid naar toepasbaarheid te maken. De vochtigheid van het voegzand is wél een belangrijke parameter. Deze is getest door het voegzand vooraf gelijkmatig te mengen met een bepaald percentage water (tien massaprocent). Hier is wél een duidelijk negatief effect op de vulling van de voeg te merken, doordat het “natte” voegzand enkel boven in de voeg dringt en niet verder naar beneden loopt (zie figuur 25, foto – blz. 37).

Als besluit kunnen we stellen dat **droog invoegen** nog altijd het **beste** is en dat, indien dit niet mogelijk is (wat in de praktijk vaak voorkomt), een aantal keren opnieuw dient ingevoegd, bijvoorbeeld wanneer het oorspronkelijk aangebrachte voegzand na een droge periode dieper in de voeg gezakt is.



Figuur 25 – Resultaten voor toepasbaarheid van voegzanden in een fijne voeg (1-2 mm), uitgedrukt als volumetrische vulling (l/m²) van de voeg

Gelijksoortige proefbakken zijn ook gebruikt om de toepasbaarheid en erosiegevoeligheid (zie verderop) van *gebonden voegmortels* te bepalen. Daarbij werden betonstraatstenen met afstandhouders gebruikt, zodat automatisch een voeg van ongeveer 5 mm tussen de stenen ontstond. De toepasbaarheid van de materialen werd nagegaan door de opgevulde voeghoogte te meten aan boorkernen (zie figuur 26).



Figuur 26 – Resultaten voor de toepasbaarheid van voegmortels, uitgedrukt als opgevulde voegdiepte (dikte straatsteen = 80 mm)

Hieruit blijkt duidelijk dat niet alle mortels een even goede vulling van de voeg geven, wat samenhangt met de vloeibaarheid en verwerkbaarheid van de mortel. Het watergehalte dat één producent van cementgebonden voegmortel (A) aanraadt, bleek bijvoorbeeld duidelijk te laag om voldoende vloeibaarheid (en dus toepasbaarheid) van dit product te verkrijgen, met slechts half gevulde voegen tot gevolg. Men moet er zich dus van bewust zijn dat smallere voegen een vloeibaarder voegmortel vragen, zonder dat daarbij te veel mag worden ingeboet op de kwaliteit van het materiaal als bijvoorbeeld meer water wordt toegevoegd (lagere sterkte, hogere wateropslorping, enz.). Afhankelijk van de gebruikte voegmortel (zeker bij harsgebonden materialen) is bovendien een minimale voegbreedte nodig om een goede vulling van de voeg te waarborgen.

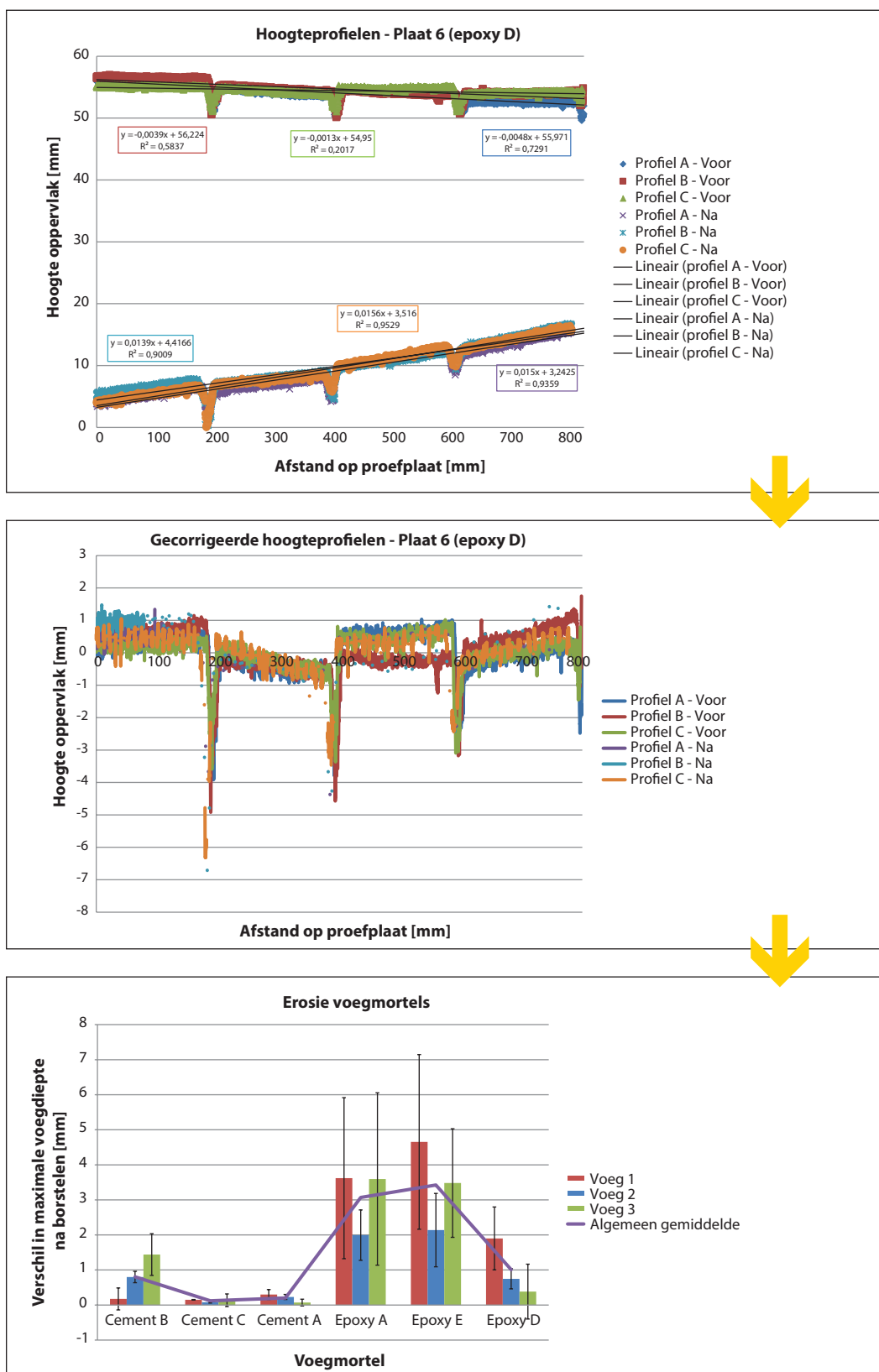
5.3 Erosiegevoeligheid van voegmortels

Om de erosiegevoeligheid te bepalen, werden na achtentwintig dagen uitharding proeven uitgevoerd met een stalen onkruidborstel, om de slijtage gedurende de levensduur van de bestrating te simuleren (zie figuur 27). Daarbij werd het profiel van het oppervlak voor en na het borstelen met een laserprofielmeter bepaald, om het voegdiepteverschil tussen voor en na in kaart te brengen (zie figuur 28, blz. 39).



Figuur 27 – Proeven ter bepaling van de erosiegevoeligheid van de voegmortels (stalen onkruidborstel en laserprofielmeter om de voegprofielen voor en na borstelen te bepalen)

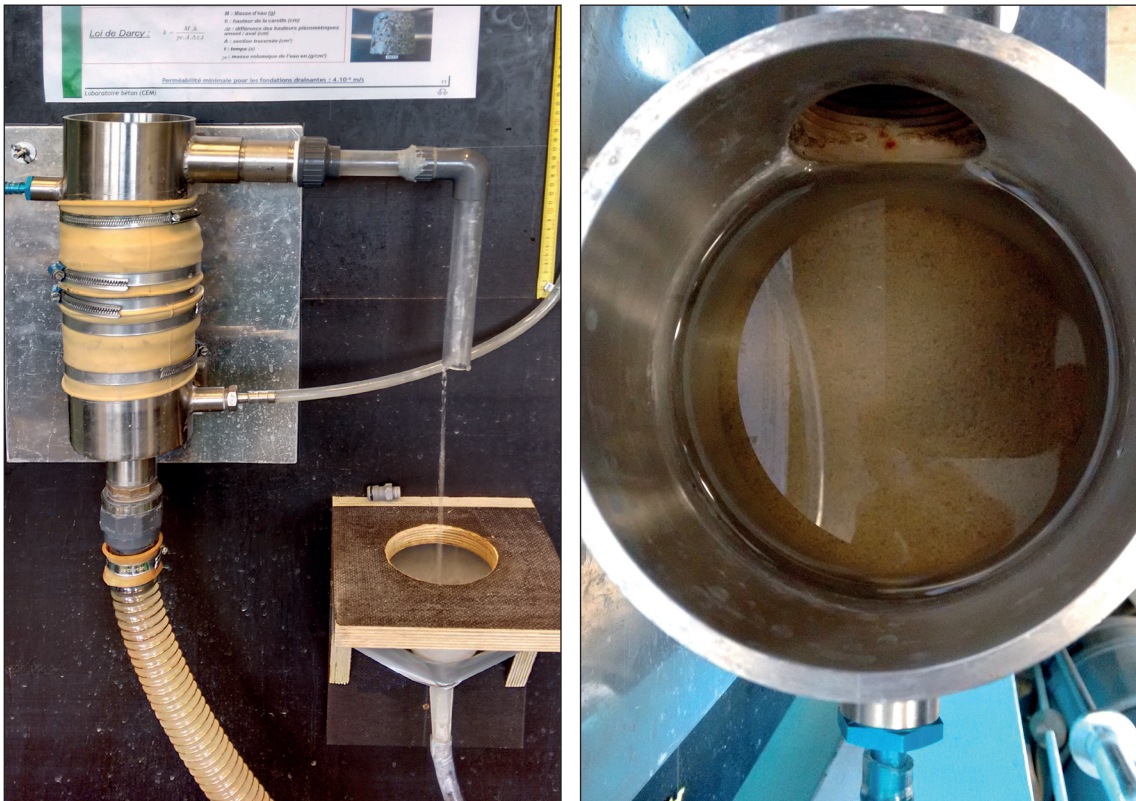
Over het geheel genomen blijkt uit deze resultaten dat de **cementgebonden voegmortels** ondanks de grote spreiding in de meetresultaten **duidelijk beter** tegen de inwerking van de onkruidborstel **bestand** zijn, met slechts minimale verliezen aan voegdiepte. De met epoxy gebonden mortels zijn een stuk gevoeliger voor afslijting, maar over de levensduur van de bestrating bekeken kan het verlies van materiaal (gemiddeld 2 tot 4 mm voegdiepte per vijf minuten intensief borstelen in de voeg) in dit *worst case scenario* wel nog aanvaardbaar zijn.



Figuur 28 – Resultaten van proeven ter bepaling van de erosiegevoeligheid van de voegmortels na mathematische verwerking van de voegprofielen (zie voorbeelden voor epoxy D bovenaan): verschil in maximale voegdiepte voor en na borstelen

5.4 Waterdoorlatendheid van gebonden voegvullingen

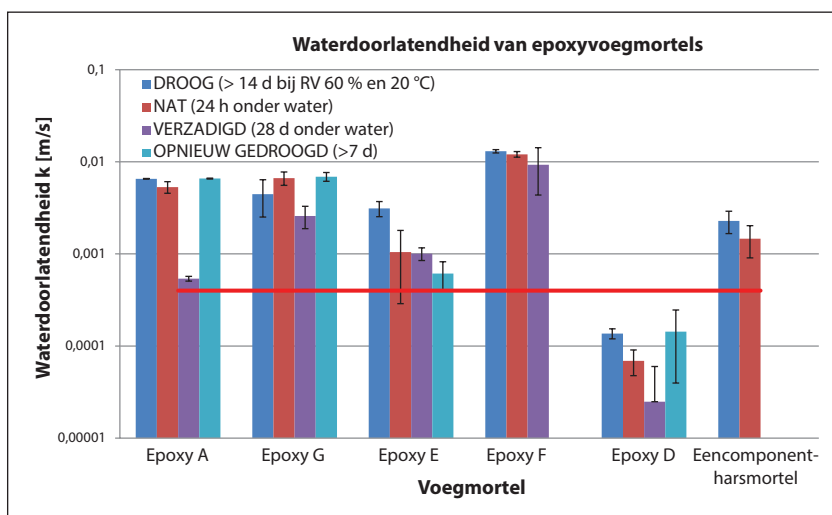
De waterdoorlatendheid van *polymeergebonden* voegmortels kan worden beproefd volgens de methode met actieve doorstroming, die in § 14-4.9 van standaardbestek SB 250 (versie 3.1a) beschreven staat voor kernen van drainerend schraal beton (zie figuur 29). Daartoe werden met verschillende polymeergebonden voegmortels cilindrische proefstukken vervaardigd en na minimaal veertien dagen uitharding getest.



Figuur 29 – Proef ter bepaling van de waterdoorlatendheid van drainerend schraal beton, toegepast op epoxyvoegmortel

Uit de resultaten (zie figuur 30, blz. 41) blijkt dat de waterdoorlatendheid van alle beproefde harsgebonden materialen, uitgezonderd één (*epoxy D*), voldoet aan de eis voor waterdoorlatende bestratingen ($> 4 \times 10^{-4}$ m/s). Bij volledige verzadiging van de proefstukken met water is de waterdoorlatendheid weliswaar lager, maar in de meeste gevallen herstelt zij zich weer tot hetzelfde niveau na een droge periode – wat ook in de praktijk zal gebeuren.

Toepassing van deze voegmaterialen in waterdoorlatende bestratingen is dus mogelijk (bijvoorbeeld bij een hoog risico op onkruidgroei), maar zeker niet overal aangewezen. Indien voldoende betreding of belasting door verkeer optreedt, zal de onkruidgroei in ieder geval minder zijn [2]. Enkel bij zeer lage gebruiksintensiteit en brede, ongebonden voegen kan er een probleem ontstaan waarbij toepassing van deze harsgebonden materialen zinvol is.



Figuur 30 – Samenvatting van alle resultaten van proeven ter bepaling van de waterdoorlatendheid van harsgebonden voegmortels (gemiddelde resultaten aan drie kernen en na minimaal 2 h doorstroomtijd) als functie van de bewaringscondities: droog (> 14 d bij 60 % RV), nat (24 h onder water), verzadigd (28 d onder water), opnieuw droog (> 7 d in laboratoriumomstandigheden)



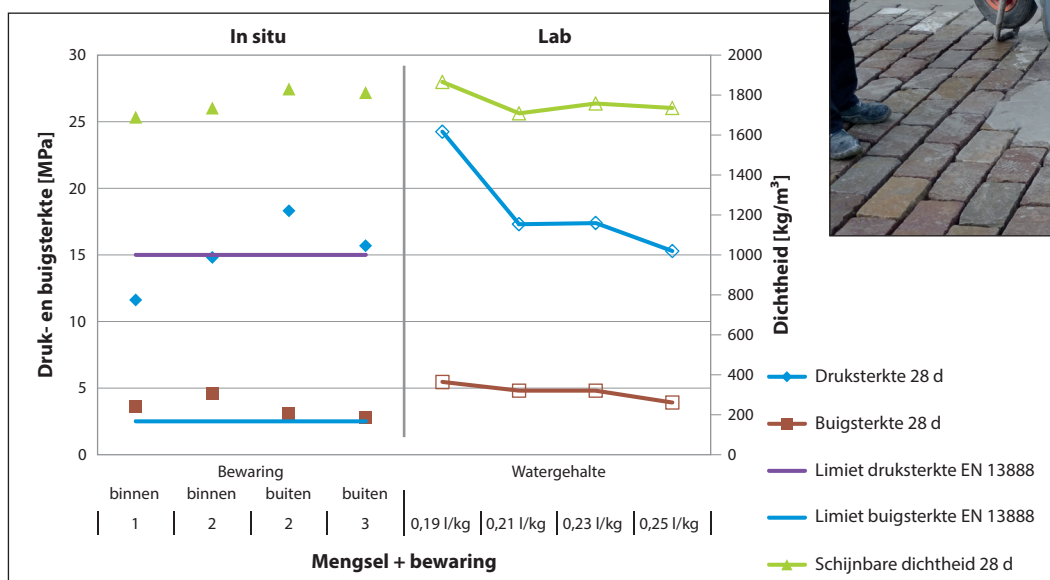
Hoofdstuk 6

Toetsing van de laboratoriumresultaten op het terrein

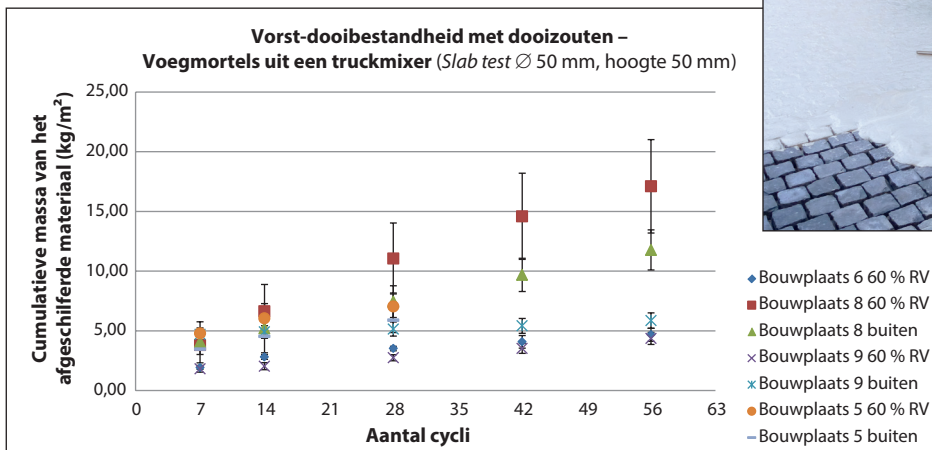
Ter validatie van de voornoemde proeven en bijbehorende prestatie-eisen zijn de laboratoriumresultaten vergeleken met metingen op proefstukken die op de bouwplaats waren vervaardigd (zie voorbeelden in de figuren 31-33, blz. 43-44). In totaal werd een vijftiental bouwplaatsen gevolgd.

Voor de **cementgebonden mortels** blijkt dat beheersing van het watergehalte cruciaal is om de beoogde sterkte en (minimale) krimp ook op de bouwplaats te halen. Wanneer te veel water wordt toegevoegd in vergelijking met het optimale gehalte zoals door de leverancier is aangegeven, treedt aanzienlijk sterkteverlies op (zie figuur 31, bouwplaats met cementmortel A) en zal ook een grotere krimp worden gemeten.

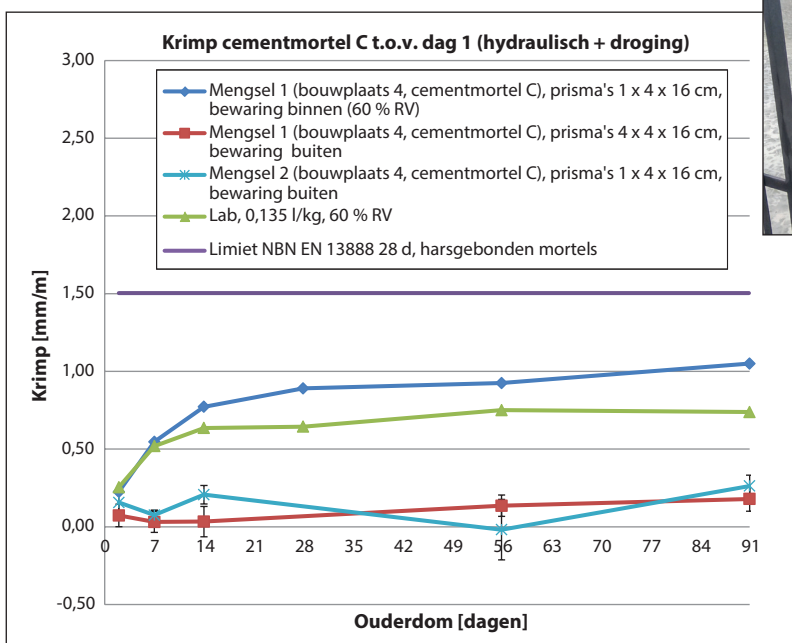
Hetzelfde geldt voor de wateropsorping en de daarmee samenhangende vorst-dooibestandheid zoals besproken bij figuur 9 (blz. 20) en geïllustreerd in figuur 32 (blz. 44) voor de weerstand tegen afschilfering in aanwezigheid van dooizouten. Indien te veel water wordt gebruikt en/of op de bouwplaats wordt toegevoegd, zal ook de vorst-dooibestandheid met dooizouten afnemen. Dat geldt evenzeer voor voegmortels die met een truckmixer naar de bouwplaats worden gebracht (zie figuur 32, blz. 44).



Figuur 31 – Vergelijking van de druk- en buigsterkte voor proefstukken, op een bouwplaats vervaardigd met cementgebonden voegmortel A



Figuur 32 – Vergelijking van de resultaten van proeven ter bepaling van de vorst-dooibestandheid met dooizouten aan op de bouwplaats vervaardigde proefstukken met die van proeven in het laboratorium: voegmortels uit een truckmixer



Figuur 33 – Vergelijking van krimpmetingen voor proefstukken die op een bouwplaats zijn vervaardigd met cementmortel C

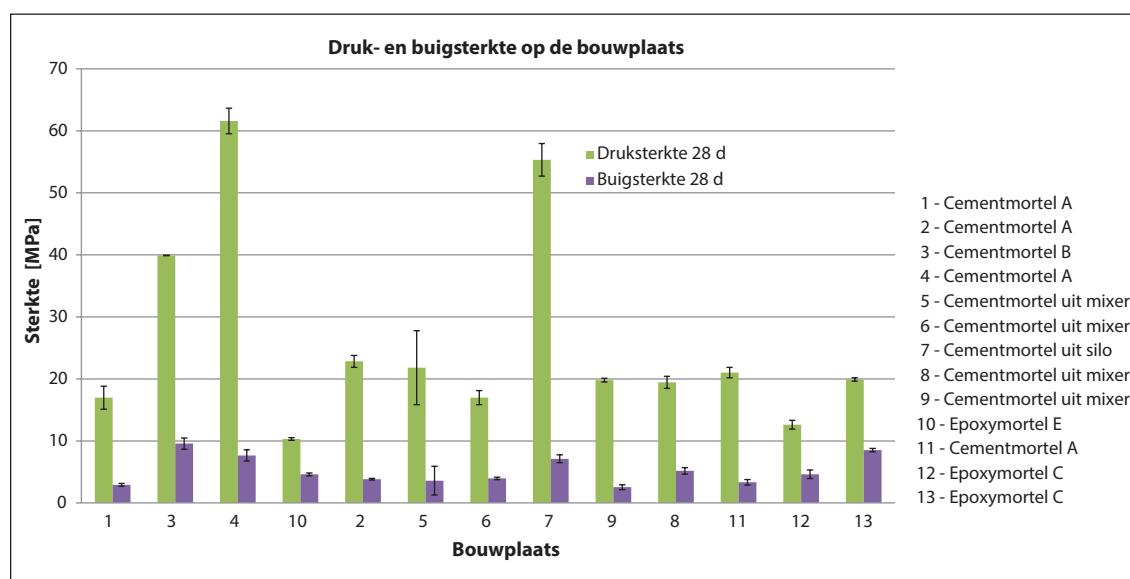
Wanneer het toegevoegde watergehalte echter zorgvuldig wordt gecontroleerd, kunnen op de bouwplaats resultaten worden gehaald die vergelijkbaar zijn met die van in het laboratorium (zie figuur 33). Voor de cementmortels geldt bovendien dat bij bewaring in (iets “vochtiger”) buitencondities doorgaans betere resultaten voor de druksterkte (na achtentwintig dagen), de wateropsorping en de vorst-dooibestandheid worden verkregen dan bij bewaring binnen (bij 20 °C en 60 % RV); dit stemt overeen met de invloed van de uithardingscondities zoals waargenomen in het laboratorium (zie bijvoorbeeld de figuren 6 en 9, blz. 17 en 20). De buigsterkte echter wordt doorgaans weinig (of zelfs licht negatief) beïnvloed door uitharding in een buitenomgeving.

Wat de aan bouwplaatsproefstukken (blootgesteld oppervlak) bepaalde bestandheid tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten betreft, is de afschilfering bij bewaring onder buitencondities doorgaans lager dan bij bewaring binnen (20 °C en 60 % RV). De gemiddelde afschilfering van vier proefstukken na achtentwintig dagen kan daarbij bijvoorbeeld worden vergeleken met de maximumlimiet die standaardbestek SB 250 (versie 3.1a) voor het vooronderzoek naar de samenstelling van wegconcrete voorschrijft (3,0 kg/m² voor de bouwklassen B6-B10 en BF). Mindere resultaten voor de vorst-dooibestandheid met dooizouten van bepaalde proefstukken (bouwplaatsen 5 en 8) stemmen daarbij doorgaans overeen met (te) hoge wateropsloringswaarden die voor deze bouwplaatsen zijn gemeten (zie figuur 9, blz. 20). **Dit bevestigt de correlatie tussen de wateropslorping en de weerstand tegen afschilfering voor de cementgebonden voegmortels, zoals uit de laboratoriumresultaten al naar voren kwam** (zie figuur 12, blz. 22).

Anderzijds lieten de **harsgebonden mortels** doorgaans aanvankelijk betere resultaten noteren bij bewaring binnen dan bij uitharding onder buitencondities, maar na achtentwintig dagen bleken de mechanische sterkten voor twee van de drie gevolgde bouwplaatsen bij binnen- en buitenbewaring nagenoeg gelijk te zijn.

Algemeen kunnen we dus stellen dat beproeving van de mechanische eigenschappen (druk- en buigsterkte, krimp, vorst-dooibestandheid) in het laboratorium bij bewaring onder de standaardcondities van 20 °C en 60 % RV een veilige maat vormt voor wat binnen een bepaalde marge werkelijk op de bouwplaats kan worden bereikt.

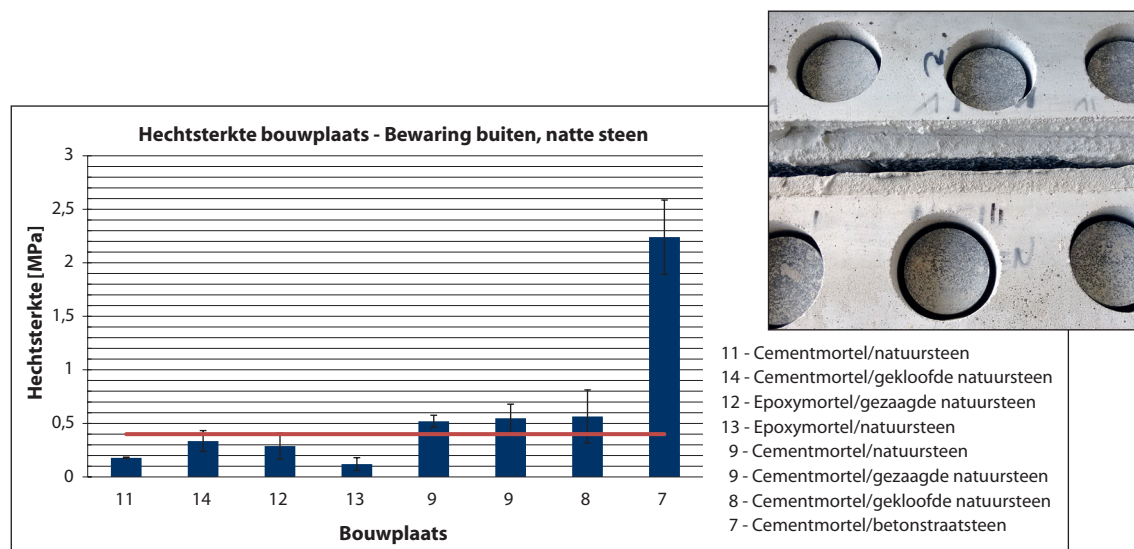
Uit een doorgedreven vergelijking van de resultaten voor de sterkte die in het laboratorium (bewaring bij 60 % RV) is verkregen en die welke op de bouwplaats (bewaring buiten) is bepaald, en anderzijds tussen de krimp voor proefstukken die respectievelijk in het laboratorium en op de bouwplaats werden vervaardigd en beide bij 60 % RV werden bewaard, blijkt dat de **druksterkte op de bouwplaats** doorgaans **minstens 80 % van die in het laboratorium** bedraagt en dat de **krimp in het laboratorium minimaal 80 %** van die op de bouwplaats bedraagt of, met andere woorden, dat de krimp op de bouwplaats maximaal 25 % groter is dan in het laboratorium. Figuur 34 geeft een overzicht van de behaalde druk- en buigsterkten na achtentwintig dagen uitharding in buitenomstandigheden, voor alle gevolgde bouwplaatsen. Hieruit blijkt dat er wel een zekere variatie zit in de sterkte die bij in-situomstandigheden wordt behaald.



Figuur 34 – Samenvatting van resultaten voor druk- en buigsterkte aan proefstukken die op de bouwplaats werden vervaardigd en in buitenomstandigheden werden bewaard

Ten slotte geldt ook voor andere mechanische eigenschappen, zoals de slijtweerstand volgens de Caponproef, dat zowel met de harsgebonden als met de cementgebonden mortels gelijksoortige resultaten op de bouwplaats kunnen worden gehaald als in het laboratorium.

In verband met de meer *functiegerelateerde eigenschappen* (hechting, doorlatendheid) van de toegepaste producten, is ook een aantal bouwplaatsen gevolgd om deze parameters te meten aan ter plaatse vervaardigde proefstukken. Hieruit blijkt dat – vooral bij de cementgebonden materialen – doorgaans betere resultaten voor de hechtsterkte worden verkregen wanneer de proefstukken buiten bewaard blijven dan wanneer zij binnen bij 60 % RV worden bewaard.

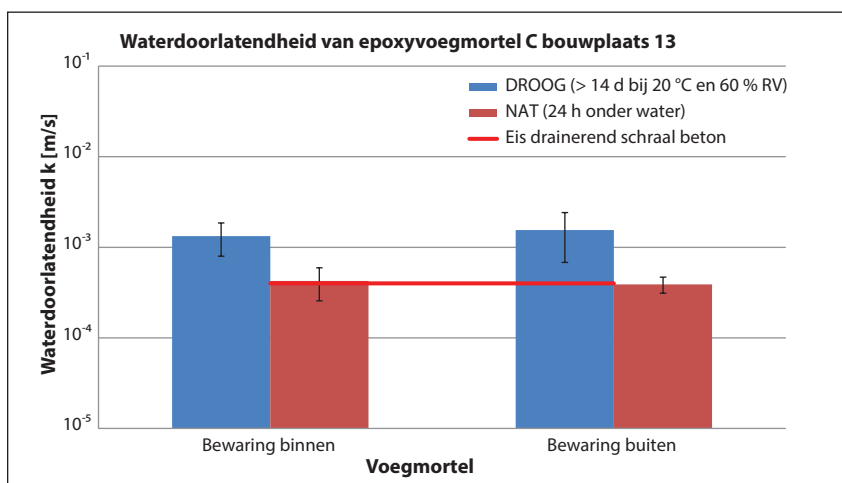


Figuur 35 – Samenvatting van de resultaten voor de hechtsterkte tussen natte straatsteen en voegmortel, voor proefstukken die op de bouwplaats werden vervaardigd en in buitenomstandigheden werden bewaard

Algemeen kunnen we (met uitzondering van bouwplaats 7, waar een cementmortel werd toegepast die ter plaatse met droog materiaal uit een silo en onder toevoeging van water werd bereid) stellen dat, wat de **resultaten op de bouwplaats** betreft, de waarden voor de hechtsterkte tussen steen en voegmortel vrij laag zijn ten aanzien van de eisen die in bestaande richtlijnen in het binnen- en buitenland worden gesteld (zie tabel 1, blz. 12). Als men bijvoorbeeld een minimale richtwaarde van 0,4 MPa op de bouwplaats hanteert voor een aanvaardbare hechting tussen steen en voegmateriaal, blijkt uit figuur 35 dat de gemiddelde waarde voor de directe hechtsterkte deze limiet slechts op de helft van de gevolgde bouwplaatsen overschrijft.

Bij een uitvoering volgens het “stijve” concept, met nagenoeg ondoorlatende lagen in de opbouw, is controle a priori van de hechtsterkte tussen straatsteen en voegmortel dus zeker nog een aandachtspunt voor de praktijk, dat benadrukt dient te worden om tot een duurzame verharding te komen. Zeker in geval van gezaagde, gladdere natuursteen kan dit een probleem vormen. Combinatie van een lage hechtsterkte met een grote(re) initiële krimp kan bovendien aanleiding geven tot scheurvorming ter hoogte van het hechtvlak tussen steen en voegmortel. Op sommige bouwplaatsen is dat inderdaad ook gebleken, met alle gevolgen van dien.

In verband met de *waterdoorlatendheid* van de harsgebonden voegmortels is voor één bouwplaats ook de waterdoorlatendheid gecontroleerd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 36 (blz. 47) en geven aan dat ook hier de beproefde polymeergebonden voegmortel op de bouwplaats een zeer goede waterdoorlatendheid vertoont ($> 4 \times 10^{-4}$ m/s).



Figuur 36 – Resultaten van proeven ter bepaling van de waterdoorlatendheid aan proefstukken van epoxyvoegmortel C, die op de bouwplaats werden vervaardigd en binnen (60 % RV) of buiten werden bewaard

Daarnaast is ook, zoals in tabel 5 geïllustreerd wordt, een vergelijking gemaakt met de doorlatendheid in situ van enkele recentelijk aangelegde proefvakken op het OCW-terrein in Sterrebeek [4]. De oppervlakdoorlatendheid werd daarbij gemeten met de dubbele-ringmethode, die gebruikt wordt om de waterdoorlatendheid van waterdoorlatende bestratingen te controleren. Over het geheel genomen zijn de waarden – rekening houdend met de spreiding van de meetresultaten, de variabiliteit van de materiaaleigenschappen in situ en het inrekenen van het voegenaandeel – zeer vergelijkbaar, behalve voor epoxy mortel A.

Voeg-mortel	Doorlatendheid in lab [m/s] (24 h in H ₂ O)	Dubbele ringproef [m/s]	Voegaandeel [%]	Berekende doorlatendheid in situ [m/s]	
Epoxy A	$(5,3 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$4,8 \times 10^{-5}$	15	$0,3 \times 10^{-3}$	
Epoxy F	$(12 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-4}$	7	$6,4 \times 10^{-3}$	
1K-mortel	$(1,5 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^{-4}$	12,5	$3,4 \times 10^{-3}$	
Epoxy E	$(1,0 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-4}$	12,5	$2,2 \times 10^{-3}$	

Tabel 5 – Vergelijking van waterdoorlatendheidsmetingen in het laboratorium met dubbele-ringproeven in situ op proefvakken met waterdoorlatende straatstenen



Hoofdstuk 7

Implicaties en aanbevelingen voor de praktijk

Op basis van de onderzoeksresultaten die in dit researchverslag zijn beschreven, wordt de volgende matrix voorgesteld voor eigenschappen die naar gelang van de soort voegvullingsmateriaal en het bijbehorende toepassingsgebied (zie ook tabel 7, blz. 50) kunnen worden beproefd.

Mechanische en duurzaamheidseigenschappen	Productgroep		
	A + G ongebonden	B cementgebonden	C harsgebonden
Druk- en buigsterkte		x	x
Krimp		x	x
Wateropslorping		x	
Afslijting		x	x
Dichtheid		x	x
Vorst-dooibestandheid met dooizouten		(x)	
Hechtsterkte		x	x
Verwerkbaarheid		x	x
Andere?	Toepasbaarheid	Erosie (borstel)	Erosie
Onkruidremming	x	(x)	(x)
Waterdoorlatendheid	x		x
Toepassingsgebied	Cf. eisen in [1]	Eisen afhankelijk van verkeersbelasting (tabel 9, blz. 53)	

x = te beproeven, (x) = mogelijk te beproeven.

Tabel 6 – Matrix met te beproeven eigenschappen naar gelang van de soort voegvullingsmateriaal en bijbehorend toepassingsgebied

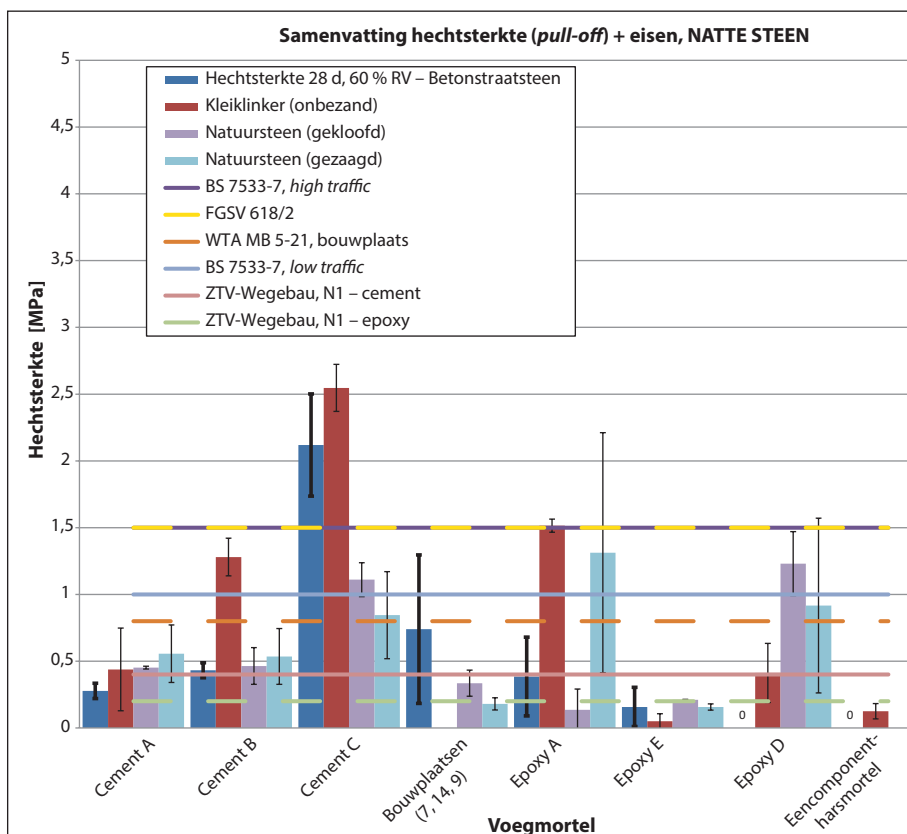
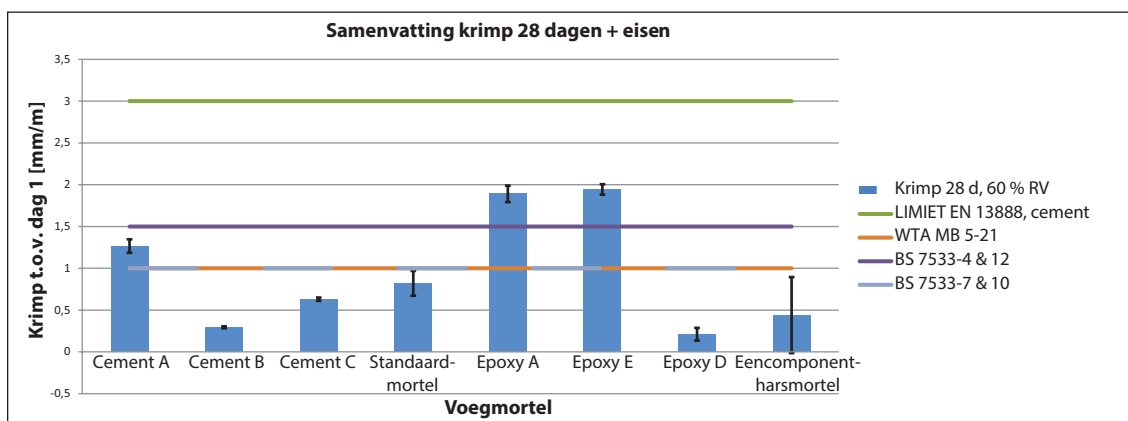
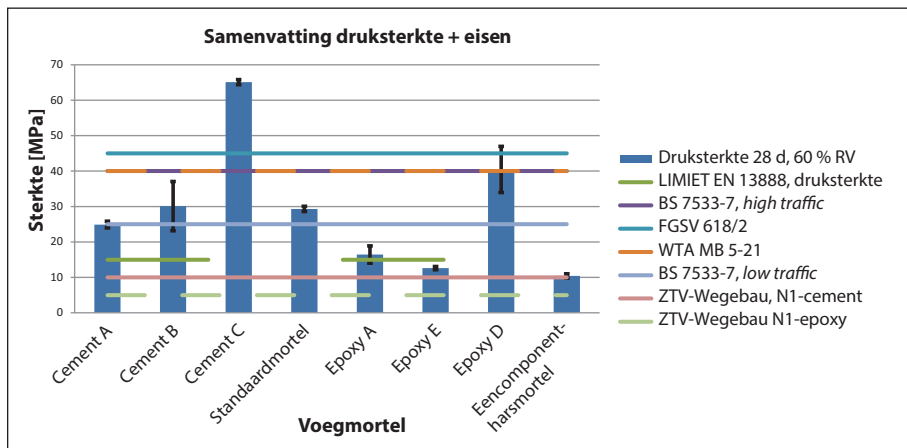
Voor *ongebonden voegvullingsmaterialen* kan worden verwezen naar de standaardbestekken in de drie gewesten en naar de OCW-handleiding A 80/09 voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen [1]. Bijkomend kan het onkruidremmende vermogen worden bepaald met de methode die door de UGent is ontwikkeld, waarbij ook een rangschikking tussen verschillende materialen kan worden opgemaakt. Daarnaast is de toepasbaarheid van belang, waarvoor een aanzet tot beproevingsprocedure staat beschreven in hoofdstuk 5. Ten slotte kan ook het waterdoorlatende vermogen van ongebonden materialen een rol spelen; dit kan worden geschat uit de korrelverdeling en/of met een bepaalde beproevingsmethode [11].

Voor nieuwere materialen (*polymeerzanden met synthetische of natuurlijke bindmiddelen en joint sealers*) is verder onderzoek nodig om het (mechanische) gedrag te karakteriseren. Mogelijk dienen ze te worden beschouwd als “verbeterd” gebonden steenslag, waarbij korrelverdeling, kwaliteit van het zand, watergehalte, dosering van het bindmiddel, enz. een rol spelen. Praktijkervaring zal moeten uitwijzen hoe goed deze materialen tegen verkeer bestand zijn en welke duurzaamheid men voor bestratingen onder verkeer in het vooruitzicht kan stellen. Het onkruidremmende vermogen kan worden bepaald met een analoge methode als voor ongebonden materialen. Onder voorbehoud van verder onderzoek is gebruik van deze materialen voorlopig enkel aangewezen voor toepassingen die behoren tot verkeerscategorie IV zoals gedefinieerd in OCW-handleiding A 80/09 [1] (zie tabel 7).

Type van verkeer				Indicatieve aanduiding van de bouwklasse volgens de Standaard Wegstructuren van de Vlaamse Overheid
Categorie	Voetgangers, fietsers, bromfietsen	Lichte voertuigen (< 3,5 t)	Zware voertuigen (> 3,5 t)	
I	Onbeperkt	Beperkt tot 5 000 per dag	Beperkt tot 400 per dag	B6-B7
II	Onbeperkt	Beperkt tot 5 000 per dag	Beperkt tot 100 per dag	B8-B9
III	Onbeperkt	Beperkt tot 500 per dag	Beperkt tot 20 per dag	B10
IV	Onbeperkt	Occasioneel	Geen	BF

Tabel 7 – Definitie van verschillende verkeerscategorieën voor bestratingen in OCW-handleiding A 80/09 [1]

Voor *cementgebonden materialen en harsgebonden mortels* (zowel eencomponent- als tweecomponentenmaterialen) ten slotte kunnen eisen worden gesteld **naar gelang van de verkeerscategorie** (volgens tabel 7) waarvoor ze worden gebruikt. Dit is gebeurd op basis van een analyse van alle resultaten van proeven ter bepaling van de mechanische en duurzaamheidseigenschappen (druk- en buigsterkte, krimp, slijtweerstand, wateropsorping, enz.) van zowel cement- als harsgebonden voegmortels en een vergelijking met zowel de bestaande eisen in het binnen- en buitenland (zie tabel 1, blz. 12) als de resultaten die daadwerkelijk op de bouwplaats worden gehaald (zie hoofdstuk 6). Figuur 37 (blz. 51) geeft enkele voorbeelden (zie ook de figuren 9, 31 en 36 op de blz. 20, 43 en 47).



Figuur 37 – Voorbeeld van samenvatting van resultaten van proeven ter bepaling van mechanische en functionele eigenschappen van cement- en harsgebonden voegmortels en vergelijking met bestaande eisen (standaardmortel = cementmortel aangemaakt volgens NBN EN 196-1)

De aangewezen beproevingsmethoden ter bepaling van zowel de fysische, mechanische en duurzaamheidseigenschappen als de meer functiegerelateerde eigenschappen (hechtsterkte en waterdoorlatendheid) van de gebonden materialen zijn daarbij samengevat in tabel 8.

Kenmerken van gebonden voegmortels		
Kenmerk	Beproevingmethode	Opmerkingen
Druksterkte	NBN EN 12808-3	Bewaring bij 20 °C en 60 % RV
Buigsterkte	NBN EN 12808-3	Bewaring bij 20 °C en 60 % RV
Krimp	NBN EN 12808-4	Bewaring bij 20 °C en 60 % RV <i>Cementgebonden:</i> 1 x 4 x 16 cm <i>Harsgebonden:</i> 4 x 4 x 16 cm
Slijtweerstand (Capon)	NBN EN 12808-2	Bewaring bij 20 °C en 60 % RV
Wateropslorping	NBN EN 12808-5	<i>Enkel voor cementgebonden</i> Bewaring bij 20 °C en 60 % RV
Vorst-dooibestendheid met dooizouten (afschilfering)	Aangepaste <i>Slab test</i> volgens CEN/TS 12390-9	<i>Enkel voor cementgebonden</i> 4 proefstukken Ø 50 mm, hoogte 50 mm Bewaring bij 20 °C en 60 % RV
Hechtsterkte Eis voor de combinatie "voegmortel-straatsteen"	NBN EN 1542	Vochtige steen Bewaring bij 20 °C en 60 % RV > 0,5 MPa: 0,05 MPa/s < 0,5 MPa: 0,025 MPa/s Gebruik van conische ring conform NBN EN 1015-12 indien nodig bij lagere hechtsterkte Minimaal 5 hechtproeven
Waterdoorlatendheid	SB 250 (versie 3.1a), Hfst. 14-4.9	<i>Enkel voor harsgebonden</i> Bewaring bij 20 °C en 60 % RV Gemiddeld resultaat na minimaal 2 h doorstroming

Tabel 8 – Beproevingmethoden ter bepaling van mechanische en functionele eigenschappen van gebonden voegmortels in het laboratorium

Wat de wateropslorping en de bestandheid tegen vorst-dooicycli met dooizouten van cementgebonden materialen betreft, dient een keuze te worden gemaakt. Bij initiële proeven kunnen beide worden getest, maar in een later stadium volstaat het in principe enkel de wateropslorping te controleren, gezien het verband tussen beide (zie figuur 12, blz. 22).

Tot slot zijn, voor de met deze methoden beproefde eigenschappen en overeenkomstige resultaten op de bouwplaats, onze **aanbevelingen op Belgisch niveau samengevat in tabel 9, in de vorm van aan gebonden voegmortels te stellen eisen naargelang van de verkeersbelasting.**

Eis		Verkeerscategorie			
		I	II	III	IV
Druksterkte na 28 d [MPa]		≥ 30	≥ 20	≥ 10	
Buigsterkte na 28 d [MPa]		≥ 6	≥ 3,5	≥ 2,5	
Krimp na 28 d [mm/m]		≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3,0	
Afslijting Capon [mm ³]		≤ 175	≤ 175	≤ 250	
Wateropslorping [g]	30 min	≤ 2	≤ 2	≤ 5	
	240 min	≤ 5	≤ 5	≤ 10	
Gemiddelde afschilfering [kg/m ²] <i>Slab test</i>		≤ 3	≤ 4,5	-	
Hechtsterkte [MPa] Eis voor de combinatie "voegmortel-straatsteen"		≥ 1,0	≥ 0,5	-	
Indicatieve resultaten op de bouwplaats		<ul style="list-style-type: none"> - Druk-, buig- en hechtsterkte > 80 % van laboratoriumwaarde - Krimp < 1,25 x laboratoriumwaarde - Wateropslorping < 5 g (30 min) en < 10 g (240 min) voor categorie I t.e.m. III 			

Tabel 9 – Aanbevelingen voor eisen aan gebonden voegmortels voor bestratingen naargelang van de volgens tabel 7 (blz. 50) verwachte verkeersbelasting

Belangrijk hierbij is dat de eigenschappen van de gebruikte voegmortels op voorhand (bijvoorbeeld in de ontwerpfase of het vooronderzoek) dienen te worden getest en/of nagegaan (bijvoorbeeld aan de hand van de productbladen), om te zien of ze aan de eisen voldoen. Bovendien moet het bepalen van deze waarden gepaard gaan met voldoende goede verwerkbaarheid van de mortels, toepasbaarheid als functie van voegbreedte en -diepte, bestandheid tegen veeg- en borstelmachines (erosie), een bevredigende warmte-uitzettingscoëfficiënt, enz. Ook dit zijn belangrijke punten, die bij toepassing van voegvullingsmaterialen in de praktijk niet uit het oog mogen worden verloren.

Ten slotte is eventueel ook een controle op de bouwplaats mogelijk om na te gaan of het materiaal correct werd toegepast (met het juiste watergehalte, goede menging, hechting aan steen, enz.). In tabel 9 zijn enkele indicaties opgenomen voor de waarden die op de bouwplaats kunnen worden behaald in vergelijking met de resultaten in het laboratorium.

Alleszins hopen we dat deze richtlijnen met betrekking tot *in het laboratorium* te stellen prestatie-eisen aan voegvullingsmaterialen voor bestratingen met kleinschalige elementen de duurzaamheid van deze waardevolle wegverharding in haar geheel ten goede zullen komen.



Literatuur

- [1] **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (2009)**
Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen.
 Brussel: OCW. (Aanbevelingen, 1376-9332 ; A 80). Online raadpleegbaar <http://www.brrc.be/nl/artikel/a8009>, laatst geraadpleegd 30/03/2017.
- [2] **Beeldens, Anne; Boonen, Elia; De Cauwer, Benny; Fagot, Maureen; Reheul, Dirk (2013)**
Handleiding voor niet-chemisch(e) onkruidbeheer(sing) op verhardingen met kleinschalige elementen.
 Brussel: Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw. (Aanbevelingen, 1376-9332 ; A 84). Online raadpleegbaar <http://www.brrc.be/nl/artikel/a8412>, laatst geraadpleegd 30/03/2017.
- [3] **Beeldens, Anne; Gendera, Frank; Rens, Luc; Van den Berghe, Thomas; Van den Heyning, Geert; Vijverman, Lieve (2008)**
Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen.
 Brussel: Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (Dossier ; 5). Online raadpleegbaar http://www.brrc.be/nl/artikel/dossier05_nl, laatst geraadpleegd 30/03/2017.
- [4] **Boonen, Elia; Lybaert, Marijn; Beeldens, Anne (2014)**
Evaluatie van proefvakken met innovatieve voegvullingsmaterialen op het OCW-terrein in Sterrebeek: nieuw prenormatief onderzoek rond prestatie-eisen (PREVOSTRAT).
 In: OCW Mededelingen, (101), blz. 5-9. Online raadpleegbaar <http://www.brrc.be/nl/artikel/med101>, laatst geraadpleegd 30/03/2017.
- [5] **Boonen, Elia; Lybaert, Marijn; Beeldens, Anne (2015)**
Prenormatief onderzoek naar prestatie-eisen voor innovatieve voegvullingsmaterialen in bestrijtingen met kleinschalige elementen (PREVOSTRAT) : stand van zaken na één jaar onderzoek.
 In: OCW Mededelingen (105), blz. 16-17. Online raadpleegbaar <http://www.brrc.be/nl/artikel/med105>, laatst geraadpleegd 14/04/2017.
- [6] **Evans, Kerry; Burton, David (2012)**
Improved Binder Blends.
 Applied for by Tuffbau Limited. Patent no. WO2012114129 A1. Online raadpleegbaar <http://www.google.com/patents/WO2012114129A1>, laatst geraadpleegd 30/03/2017.
- [7] **Vandewalle, Lucie; Beeldens, Anne; Pierre, Christian; Germain, Olivier; De Myttenaere, Olivier (2009)**
Etude et comparaison des méthodes d'essais de résistance des bétons aux cycles de gel-dégel selon la prENV 12390-9, l'ISO/DIS 4846-2 et la NTN-018.
 In: Belgische Wegenvereniging (Uit.): 21e Belgisch wegencongres, Gent, september 22-25. Brussel: BWV. Online raadpleegbaar <http://www.abr-bwv.be/sites/default/files/II.17.pdf>, laatst geraadpleegd 30/03/2017.
- [8] **Schaeffer, Vernon R.; Kevern, John T.; Wang, Kejin (2011)**
An integrated study of pervious concrete mixture design for wearing course applications.
 Washington: National Concrete Pavement Technology Center; Federal Highway Administration, US Department of Transportation. Online raadpleegbaar <http://www.rmc-foundation.org/images/PvC%20Wearing%20Course%20Apps%20Final%20Report%2010-11.pdf>, laatst geraadpleegd 03/04/2017.

- [9] **Destrée, Alexandra; Piérard, Nathalie; Vanelstraete, Ann (2015)**
Development of a test method to determine the colour durability of coloured bituminous mixtures.
In: Road materials and Pavement Design, 16(S1), pp. 170–86. Online raadpleegbaar <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2015.1029670>, laatst geraadpleegd 03/04/2017.
- [10] **Bissonnette, Benoît; Courard, Luc; Fowler, David W.; Granju, Jean-Louis (Eds.) (2011)**
Bonded cement-based material overlays for the repair, the lining or the strengthening of slabs or pavements.
Dordrecht: Springer. (RILEM State art reports ; 3). Online raadpleegbaar <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1239-3>, laatst geraadpleegd 03/04/2017.
- [11] **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (1968)**
Werkwijze voor de laboratoriummeting van de doorlatendheidscoëfficiënt van zand bij volledige verzadiging.
Brussel: OCW. (Meetmethode ; MN 31). Online raadpleegbaar <http://www.brcc.be/nl/artikel/mn3168>, laatst geraadpleegd 30/03/2017.

Normen – Technische richtlijnen

Association française de normalisation (2007)

Chaussées urbaines : mise en oeuvre des pavés et dalles en béton, des pavés en terre cuite et des pavés et dalles en pierre naturelle.

La Plaine Saint-Denis: AFNOR. NF P98-335.

British Standards Institution (2010)

Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Part 7, code of practice for the construction of pavements of natural stone paving units and cobbles, and rigid construction with concrete block paving.

Londen: BSI. BS 7533:7.

British Standards Institution (2010)

Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Part 10, guide for the structural design of trafficked pavements constructed of natural stone setts and bound construction with concrete paving blocks.

Londen: BSI. BS 7533:10.

Bureau voor Normalisatie (2016)

Beproevingmethoden voor cement. Deel 1, bepaling van de sterkte.

Brussel: NBN. NBN EN 196-1.

Bureau voor Normalisatie (2016)

Proefwijzen voor metselmortel. Deel 12, bepalen van de hechtsterkte van geharde pleistermortel.

Brussel: NBN. NBN EN 1015-12.

Bureau voor Normalisatie (2011)

Tegelmortels. Deel 4, bepaling van de krimp.

Brussel: NBN. NBN EN 12808-4 (2009/AC:2011).

Bureau voor Normalisatie (2009)

Beproeving van verhard beton. Deel 7, dichtheid van verhard beton.

Brussel: NBN. NBN EN 12390-7.

Bureau voor Normalisatie (2009)

Tegelmortels. Deel 2, bepaling van de slijtweerstand.

Brussel: NBN. NBN EN 12808-2.

Bureau voor Normalisatie (2009)

Tegelmortels. Deel 3, bepaling van de buig- en druksterkte.

Brussel: NBN. NBN EN 12808-3.

Bureau voor Normalisatie (2009)

Tegelmortels. Deel 5, bepaling van de wateropsorping.

Brussel: NBN. NBN EN 12808-5.

Bureau voor Normalisatie (2009)

Mortels voor keramische tegels : eisen, conformiteitsbeoordeling, classificatie en aanduiding.

Brussel: NBN. NBN EN 13888.

Bureau voor Normalisatie (2007)

Proeven voor metselmortel. Deel 9, bepalen van de verwerkbaarheidstijd en verbeteringstijd van verse mortel.

Brussel: NBN. NBN EN 1015-9 (1999/A1:2007).

Bureau voor Normalisatie (2006)

Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies : beproevingsmethoden – bepaling van de elasticiteitsmodulus onder druk.

Brussel: NBN. NBN EN 13412.

Bureau voor Normalisatie (2006)

Betonstraatstenen : eisen en beproevingsmethoden.

Brussel: NBN. NBN EN 1338 (2003/A1:2006).

Bureau voor Normalisatie (2005)

Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies : definities, eisen, kwaliteitsborging en conformiteitsbeoordeling. Deel 2, oppervlaktebeschermingssystemen voor beton.

Brussel: NBN. NBN EN 1504-2.

Bureau voor Normalisatie (2002)

Producten en systemen voor de bescherming en reparatie van betonconstructies : beproevingsmethoden – bepaling van de verwerkbaarheidstijd.

Brussel: NBN. NBN EN 13294.

Bureau voor Normalisatie (1999)

Producten en systemen voor de bescherming en reparatie van betonconstructies : beproevingsmethoden – bepaling van de hechtsterkte door middel van de afbreekproef.

Brussel: NBN. NBN EN 1542.

Bureau voor Normalisatie (1999)

Producten en systemen voor de bescherming en reparatie van betonconstructies : beproevingsmethoden – bepaling van de schuine-afschuifsterkte.

Brussel: NBN. NBN EN 12615.

Bureau voor Normalisatie (1998)

Producten en systemen voor de bescherming en herstelling van betonconstructies : beproevingsmethoden – bepaling van de warmte-uitzettingcoëfficiënt.

Brussel: NBN. NBN EN 1770.

European Committee for Standardization (2016)

Testing hardened concrete. Part 9, freeze-thaw resistance : scaling.

Brussel: CEN. CEN/TS 12390-9.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (2013)

Zusätzliche Technischen Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs.

FLL: Bonn. ZTV-Wegebau.

Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (2009)

Technische Vertragsbedingungen : Pflasterstein- und Plattendecken, Randeinfassungen.

Wenen: FSV. RVS 08.18.01.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2007)

Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbeläge in gebundener Ausführung.

Keulen : FGSV (FGSV Arbeitspapier, 618/2).

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege (2009)

Gebundene Bauweise : Historisches Pflaster.

Pfaffenhofen: WTA. WTA Merkblatt 5-21. Online raadpleegbaar <http://wta-international.org/uploads/5-21-09.pdf>, laatst geraadpleegd 30/03/2017.

Ressorterende en steunende leden krijgen de nieuwe OCW-publicaties kosteloos toegestuurd. Alle publicaties zijn gratis downloadbaar na registratie op onze website www.ocw.be

Niet-leden kunnen tegen kostprijs een papieren versie bij het OCW bestellen.

Deze publicatie bestellen:

publication@brrc.be – Tel.: +32 (0)2 766 03 26

Kenmerk: RV 45 – Prijs: 12,00 €

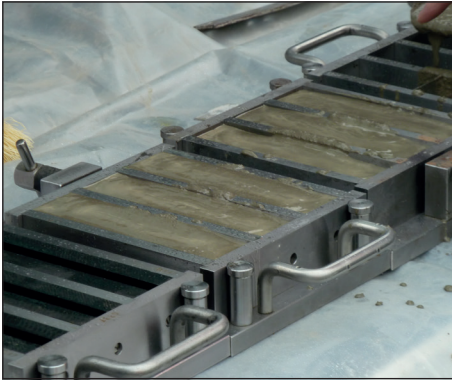
■ Andere publicaties in de reeks “Researchverslag”

In de reeks “Researchverslag” verschijnen OCW-publicaties die de praktische resultaten bevatten die op een specifiek gebied zijn verkregen, met vermelding van de hiertoe gebruikte wetenschappelijke methoden en/of verrichte informatiestudie.

Kenmerk	Titel	Prijs
RV 44/07	Vergelijking van vier toestellen om de dichtheid van asfaltverhardingen in situ te meten	7,50 €
RV 43/07	Asfalt met verhoogde stijfheid (AVS): van ontwerp tot aanbrenging op de weg	25,00 €
RV 42/06	Temperatuurverloop in een pas aangebrachte asfaltlaag	16,00 €
RV 41/05	Proefvak tweelaags zeer open asfalt	16,00 €
RV 40/03	Verhardingen van koudasfalt: eerste Belgische ervaringen	15,00 €

■ Andere OCW-reeksen

- Aanbevelingen
- Meetmethode
- Synthese



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Uw partner voor duurzame wegen

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947
Woluwedal 42
1200 Brussel
Tel.: 02 775 82 20
www.ocw.be

Voor bestratingen met kleinschalige elementen is voegvulling een wezenlijk onderdeel van de opbouw van de wegconstructie. Om effectief de rol van verharding te kunnen vervullen, dienen de voegen steeds met gepast materiaal te zijn gevuld. De soort van voegvullingsmateriaal en de duurzaamheid van de voeg in haar geheel zijn dan ook van groot belang voor de stabiliteit van de bestrating op lange termijn.

In deze OCW-publicatie wordt verslag uitgebracht over het tweejarige pre-normatieve onderzoeksproject PREVOSTRAT (voluit "Prestatie-eisen voor innovatieve voegvullingsmaterialen in bestratingen met kleinschalige elementen"), dat het OCW met steun van de FOD Economie en het Bureau voor Normalisatie (NBN) en in samenwerking met de Universiteit Gent (Vakgroep Plantaardige Productie) heeft uitgevoerd. Het onderzoek had als doel beproevingsmethoden en bijbehorende prestatie-eisen op te stellen voor innovatieve, al dan niet gebonden voegvullingsmaterialen voor toepassing in wegverhardingen met kleinschalige elementen (van beton, gebakken klei of natuursteen).

Naast de belangrijkste bevindingen en resultaten van het onderzoek worden in dit researchverslag richtlijnen en aanbevelingen voor eisen aan voegvullingsmaterialen in Europese normen en/of Belgische standaardbestekken voorgesteld.

ITRD-trefwoorden

0177 – Aanbeveling ; 0187 – Norm ; 2998 – Voeg ; 4769 – Mortel ;
5910 – Duurzaamheid ; 5925 – Kenmerken ; 6288 – Beproevings-
methode ; 8559 – Onderzoeksverslag