

Volumetrisch ontwerp en bedrijfscontrole van steenskeletmengsels: een weg naar meer grip op kwaliteit!

Jan Voskuilen
Rijkswaterstaat

Mahesh Moenielal
DIBEC

Remy van den Beemt
BAM Infra

Marc Eijbersen
CROW

namens CROW-werkgroep
‘Volumetrisch Ontwerp en Bedrijfscontrole Steenskeletmengsels’

Samenvatting

Veel wegbeheerders kiezen een deklaag van SMA vanwege de goede eigenschappen en lange levensduur. SMA is echter een kritisch mengsel en kent vele faalmechanismen. Zo kan bij overvulling van het steenskelet met mastiek de SMA vetslaan en/of spoorvormingsgevoelig worden. Dit maakt het produceren en daarna verwerken van een goed ontworpen SMA geen eenvoudige opdracht. Regelmatig treedt dan ook vroegtijdige schade op in de vorm van rafeling, spoorvorming en/of vet slaan.

Deze paper beschrijft een deel van de werkzaamheden van de CROW-werkgroep ‘Volumetrisch Ontwerp en Bedrijfscontrole Steenskeletmengsels’. De werkgroep gaat voort op de resultaten van de werkgroep IVO-SMA en de in rapport D09-02 beschreven ontwerprichtlijn. Met het onderzoek van de werkgroep wordt beoogd meer grip te krijgen op het ontwerp, de productie en verwerking van steenskeletasfaltmengsels, zodat het vroegtijdig falen van deze mengsels teruggedrongen kan worden.

Steekwoorden

SMA, steenskeletmengsel, volumetrisch ontwerp, monitoring, HRS, viscositeit mastiek

1. Inleiding

Veel wegbeheerders kiezen als deklaag op hun wegen voor steenmastiëkasfalt (SMA), dunne geluidreducerende deklagen of (tweelaags) ZOAB. Deze steenskelet deklagen staan bekend om hun hoge weerstand tegen spoorvorming en afhankelijk van de holle ruimte een lange levensduur of een hoge geluidreductie in combinatie met een kortere levensduur. De goede eigenschappen van deze steenskeletasfaltmengsels bevorderen de beschikbaarheid van de weg en daarmee de doorstroming van het verkeer en bij mengsels met geluidreducerende eigenschappen dragen ze bij aan een betere leefomgeving rondom wegen.

Het ontwerp van met name dichte steenskeletmengsels is echter zeer kritisch. Zo kunnen kleine afwijkingen in de samenstelling leiden tot vroegtijdige schade. In de praktijk komt dit ook regelmatig voor. Vroegtijdige rafeling, spoorvorming en/of vet slaan is dan veelal het gevolg. Het gevolg van deze schade is voortijdig onderhoud met kosten voor opdrachtgever en/of opdrachtnemer en verkeershinder voor de weggebruiker.

In 2009 heeft de CROW werkgroep IVO-SMA de richtlijn ‘Volumetrisch ontwerp steenmastiëkasfalt’ (CROW-rapport D09-02) uitgebracht. Deze richtlijn geeft de aannemer concrete handvatten voor het volumetrisch ontwerpen en produceren van SMA-8 en SMA-11.

In 2014 is een vervolgwergroep gestart met als taak de bestaande richtlijn te evalueren en waar nodig aan te passen en om te kijken in hoeverre de richtlijn ook geschikt gemaakt kan worden voor andere steenskeletmengsels dan SMA-8 en SMA-11.

Deze bijdrage beschrijft een aantal onderdelen van de door de werkgroep uitgevoerde werkzaamheden. Ingegaan wordt op:

- de monitoring van de door de werkgroep IVO-SMA aangelegde proefvakken;
- de evaluatie van de huidige richtlijn;
- de robuustheid van de HRS-proef;
- de invloed van de korrelvorm op de HRS-waarde;
- de plannen ten aanzien van onderzoek naar de viscositeit van de mastiek van steenskeletmengsels.

2. Monitoring SMA proefvakken CROW werkgroep IVO-SMA

In 2003 en 2004 is een zevental SMA proefvakken aangelegd op wegvakken van verschillende wegbeheerders (tabel 1). Het doel was de volumetrische mengselontwerpmethode van de CROW werkgroep IVO-SMA te valideren.

Een belangrijk element in de ontwerpmethode is de holle ruimte van het verdichte steenskelet (HRS). Om de richtlijn te kunnen toetsen is bij de productie van de SMA mengsels dan ook goed gecontroleerd of de HRS tijdens de productie van de SMA dezelfde was als destijds tijdens het mengselontwerp. Tevens is ook de HRS bepaald van uit boorkernen teruggewonnen steenslag om te onderzoeken of HRS ook werkelijk was gerealiseerd. Om een goede vergelijking te kunnen maken met de HRS tijdens mengselontwerp, werd het steenslag aan de buitenzijde van de boorkern, dat beschadigd was door boren en zagen, voor terugwinning eerst verwijderd [1]. De HRS waarden bij mengselontwerp, productie en na verwerking bleken goed met elkaar overeen te komen.

Om het presteren van de IVO SMA proefvakken te volgen zijn in de tijd spoordieptemetingen uitgevoerd en zijn de SMA proefvakken visueel geïnspecteerd [2]. De spoordieptemetingen zijn met een rei (zie figuur 1) uitgevoerd in het rechterspoor en/of linkerrijspoor van de rechter rijstrook.



Figuur 1. Voorbeeld van spoordieptemeting SMA proefvak Zeddam.

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de IVO SMA proefvakken met jaar van aanleg, de gemeten spoordieptes in de tijd en de bevindingen van de visuele inspecties. In de tabel is de gemiddelde spoordiepte weergegeven van het linker en rechter rijspoor. In geval van proefvakken Ureterp was dit gemeten in de rechter rijstrook. De bevindingen van de visuele inspecties zijn van 2015.

Tabel 1. Overzicht IVO SMA proefvakken en monitoringsgegevens

Proefvak	Jaar aanleg	Gem. spoordiepte in mm gemeten in:				Visuele inspectie (uitgevoerd in 2015)
		2009	2013	2014	2015	
Noordeloos	2005	n.g.*	**			n.v.t.
1 RW N31 Ureterp	2005	2	n.g.	3	3	Steen is kaal aan oppervlak, geen rafeling
2 RW N31 Ureterp	2005	2	n.g.	4	7	Steen is kaal aan oppervlak, geen rafeling
Princehagenlaan Breda	2003	n.g.	4		4	In rijsporen vrij dicht, maar niet vet
Moerlaken Breda	2003	n.g.	2	n.g.	3	Textuur mooi homogeen, geen rafeling
1 N315 Zeddam	2005	nihil	1	n.g.	1	In rijsporen iets open, niet vet, geen rafeling
2 N315 Zeddam	2005	nihil	1	n.g.	1	In rijsporen iets open, niet vet, geen rafeling

* n.g. = niet gemeten

** Opmerking: om onbekende reden was een oppervlakbehandeling toegepast. De gemeten spoordiepte was 0 mm. Het proefvak is vanwege de oppervlakbehandeling niet meer gemonitord in de tijd.

In figuur 2 is een voorbeeld gegeven van een SMA proefvak van de provincie Gelderland. Het 10 jaar oude SMA proefvak nabij Zeddam ziet er nog prima uit. Er is nauwelijks sprake van

spoorvorming, er zijn geen vette plekken, er is geen rafeling waargenomen en het oppervlak heeft een mooie open structuur.



Figuur 2. Links, overzicht van SMA proefvak Zeddum, rechts detail van open structuur

Uit de resultaten van de spoordieptemetingen en de visuele inspecties blijkt, dat met de IVO SMA volumetrische mengselontwerpmethode zeer stabiele SMA mengsels zijn te ontwerpen en te realiseren. Bij dit laatste is het van belang om te controleren of de HRS tijdens productie wel dezelfde is als tijdens het mengselontwerp. Indien de HRS tijdens de productie verschilt, dient de mengselsamenstelling op massabasis zodanig te worden aangepast, dat eenzelfde volumetrische samenstelling wordt verkregen als tijdens het mengselontwerp. Op deze wijze wordt voorkomen dat bij afwijkingen van de HRS bij productie een onder- of overvulde SMA wordt verkregen. Vanzelfsprekend moeten de andere bouwstoffen tijdens productie dezelfde zijn als tijdens mengselontwerp.

2.1 Conclusies monitoring proefvakken

Naar aanleiding van de resultaten van de monitoring van het praktijkgedrag van de door de CROW werkgroep IVO-SMA aangelegde SMA proefvakken wordt geconcludeerd dat met de ontwikkelde volumetrische IVO-SMA mengselontwerpmethode SMA mengsels kunnen worden ontworpen en met een hoge weerstand tegen permanente vervorming.

Door een goede controle op de HRS tijdens productie wordt beheerst dat ook daadwerkelijk een goed ontworpen SMA mengsel wordt gerealiseerd in de weg. Op basis van de ontwikkeling van de spoordiepte in de tijd en de visuele inspecties worden levensduren verwacht van SMA proefvakmengsels van wel 20 jaar of langer.

3. Evaluatie ontwerprichtlijn

Bij aanvang van de werkgroep heeft een evaluatie van de richtlijn, zoals beschreven in CROW-rapport D09-02 plaatsgevonden. De evaluatie heeft plaatsgevonden op basis van interviews, data-analyse en literatuuronderzoek naar alternatieve mengselontwerpmethoden.

De belangrijkste conclusies uit de evaluatie waren:

- Er is behoefte aan een systeem en afspraken om de oplevering van een SMA-mengsel te laten plaatsvinden op basis van volumetrische eigenschappen en niet op basis van de samenstelling en dus in massaverhoudingen. Wanneer bij de productie een afwijkende HRS van het steenslag wordt geconstateerd, moet de mengselsamenstelling van het SMA-mengsels op massabasis worden gecorrigeerd. Bij een grote mengselafwijking op massabasis zou een nieuw typeonderzoek moeten worden uitgevoerd, terwijl de gewenste holle ruimte in het SMA mengsel en daarmee de weerstand tegen spoorvorming gelijk blijven. Nieuwe regelgeving omtrent dit punt, zou het mogelijk moeten maken om volumetrische aanpassingen mogelijk te maken zonder opnieuw een typeonderzoek te hoeven uitvoeren.
- De grootste faalkosten bij SMA-mengsels zijn te vinden in mengsels, die in (zeer) kleine hoeveelheden (<500 ton) worden geproduceerd. Deze mengsels bestaan voornamelijk uit type A mengsels en “exoten” (gekleurde mengsels, speciale bindmiddelen). Aanbevolen wordt om de type A mengsels niet meer toe te passen in de regelgeving, aangezien deze mengsels geen meerwaarde hebben. Aan de asfaltproducenten wordt aanbevolen de “exoten” tot een minimum te beperken en dit uit te leggen aan asfaltverwerkers en opdrachtgevers.
- In de huidige ontwerpmethodologie kan de samenstelling van het mengsel bijgestuurd worden door het percentage steen op zeef 2 mm te variëren. Dit heeft invloed op de viscositeit van de mastiek. Hoe groot deze invloed is, is onvoldoende bekend en verdient nader onderzoek.

4. Robuustheid HRS-proef

De bepaling van de holle ruimte in het verdichte steenskelet door middel van de HRS-proef is een belangrijke stap in de ontwerprichtlijn . Door de werkgroep is een vergelijkend onderzoek uitgevoerd op één materiaal (Bestone 4/8) bij zes verschillende asfaltilaboratoria. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in tabel 2. Op basis van dit vergelijkend onderzoek kon worden geconcludeerd dat geen van de zes deelnemende laboratoria als uitbijter kon worden gezien en dat de resultaten van alle deelnemers binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval lagen. Hieruit is geconcludeerd dat de HRS-proef betrouwbaar en reproduceerbaar is.

Tabel 2. Resultaten HRS-proef op één steenslagsoort bij zes laboratoria

Gemiddelde HRS waarde alle deelnemers (%)	37,0					
Standaardafwijking HRS (%)	0,609918027					
95% betrouwbaarheidsinterval HRS (%)	38,2					
	35,8					
Code deelnemer	1	2	3	4	5	6
HRS (%)	36,6	37,7	37,1	37,2	36,0	37,4
H1 (mm)	80,8	82,7	--	82	80,5	81,9
H2 (mm)	81,3	82,5	81,8	81,7	80,3	82,4
H _{gem} (mm)	81,1	82,6	81,8	81,9	80,4	82,2
Vol. M (kg/m ³)	1719	1687	1704	1703	1733	1696

5. Invloed korrelvorm op HRS

De algemene verwachting is dat het gehalte platte stukken in een aggregaatmengsel van invloed is op de holle ruimte van het aggregaat. De werkgroep heeft de invloed van platte stukken op de HRS onderzocht voor drie steensoorten. Besloten is het onderzoek in meerdere laboratoria uit te voeren. Per steenslagsoort zijn monsters genomen van verschillende groeves of brekerijen. Per steenslagsoort is de korrelvorm gekarakteriseerd met de Flakiness Index (FI; NEN-EN 933-3) en/of de Shape Index (SI; NEN-EN 933-4). In tabel 3 zijn de door de leveranciers bepaalde SI en FI weergegeven.

Tabel 3. SI en FI van onderzochte steenslagsoorten

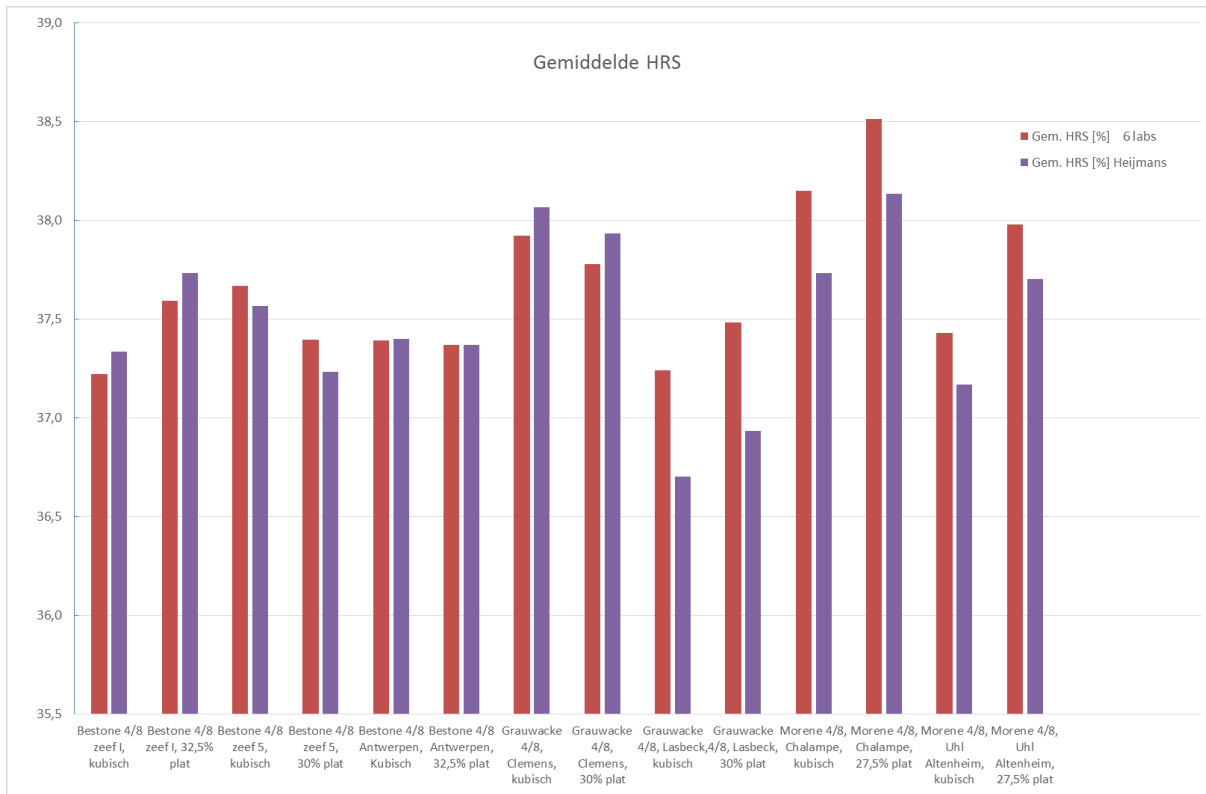
Steensoort	Bron	SI	FI
Bestone 4/8	Zeef 1 Graniet Import	23	20
Bestone 4/8	Zeef 5 Graniet Import	16	15
Bestone 4/8	Brekerij Antwerpen	23	18
Grauwacke 4/8	Groeve Clemens	17	18
Grauwacke 4/8	Groeve Lasbeck	18	17
Morene 4/8	Brekerij Chalampe	NB	NB
Morene 4/8	Brekerij Uhl Altenheim	NB	NB

Voor de monsters zijn de dichtheid (NEN-EN 1097-1), korrelverdeling (NEN-EN 933-1) en de vlakheidsindex bepaald.

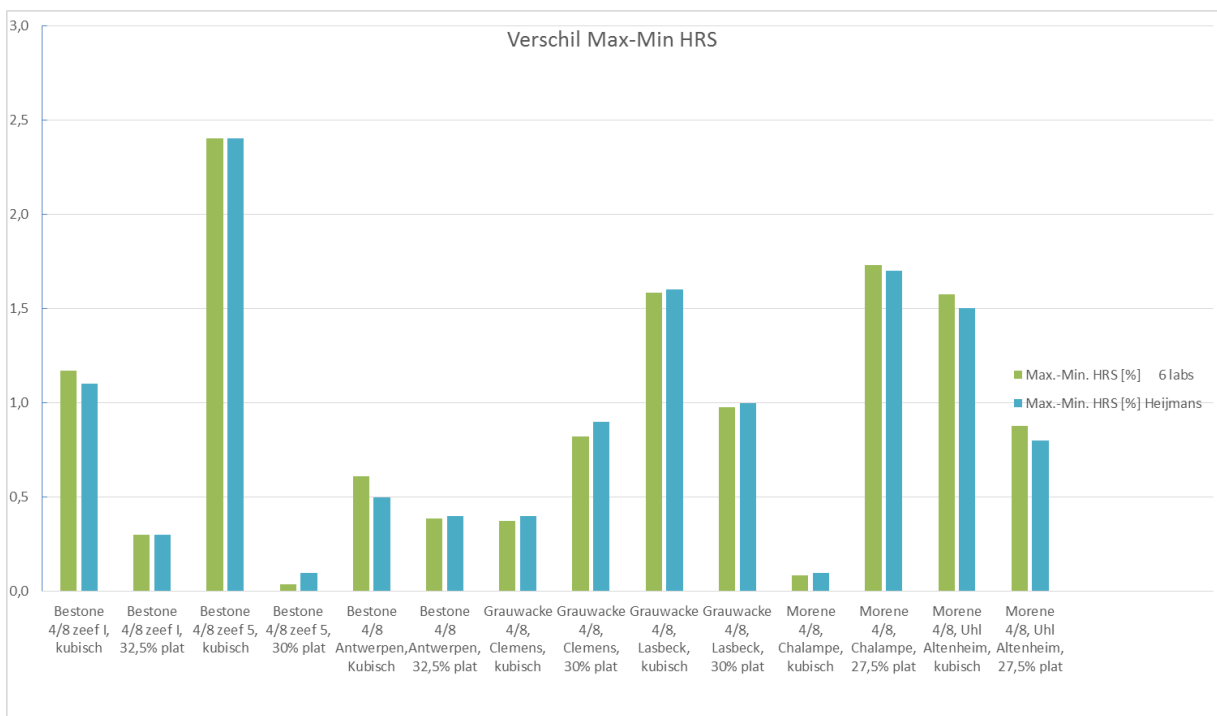
Alle steenslagsoorten zijn bij één laboratorium uitgezeefd en opnieuw samengesteld door te variëren in het gehalte platte stukken. Per partij steenslag zijn zes monsters van 1100 gram ingewogen voor het bepalen van de HRS. Het onderzoek is uitgevoerd op drie steenslagsoorten 4/8 met twee varianten:

- 100% kubisch
- Circa 70% kubisch / 30% plat

De samengestelde monsters zijn willekeurig verdeeld over de zes deelnemende laboratoria. De HRS is vervolgens bepaald voor elk monster conform proef 61 van de Standaard RAW 2015 Bepalingen. De laboratoria hebben per monster het inweeggewicht van het mineraal aggregaat met olie en de afslaghoogte na 300 gyratoromwentelingen bepaald. Vervolgens is de HRS berekend. Voor het weergeven c.q. elimineren van verschillen tussen “mens en machine” is één complete serie van 7 monsters met kubische stenen en één complete serie met platte stukken onderzocht bij één laboratorium. Na de HRS analyse is de korrelverdeling bepaald van de monsters. De resultaten van de HRS staan in de volgende grafieken.



Figuur 3. Gemiddelde HRS-resultaten van kubische en 'platte' varianten van drie steenslagsoorten



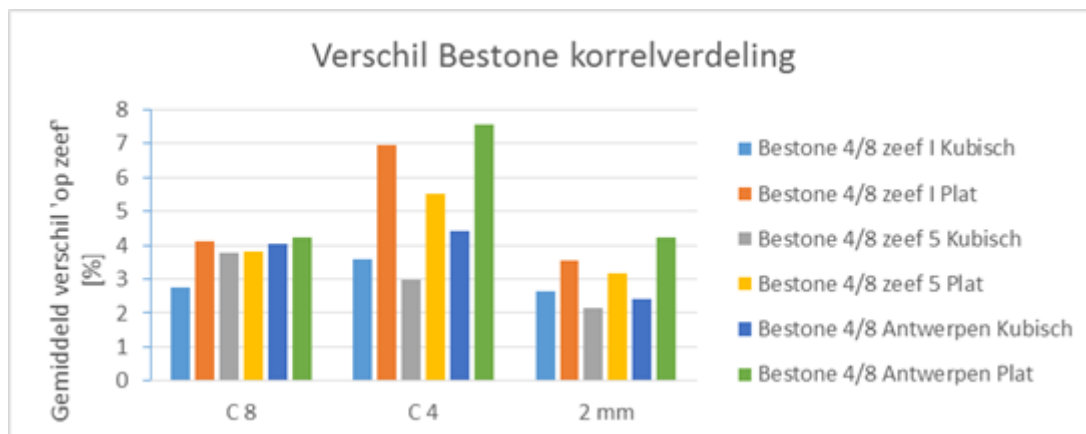
Figuur 4. Verschil tussen maximale en minimale HRS-waarde per variant en steenslagsoort

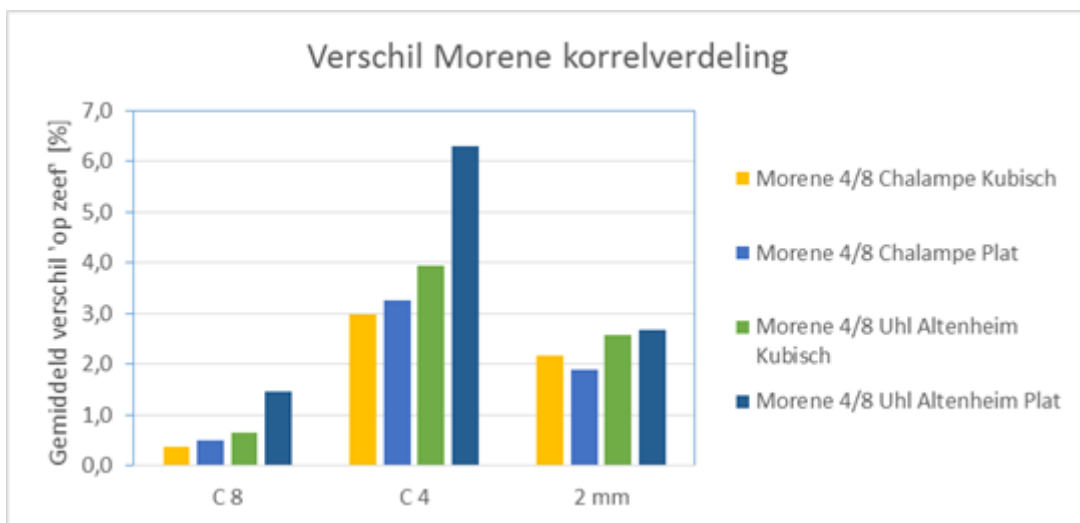
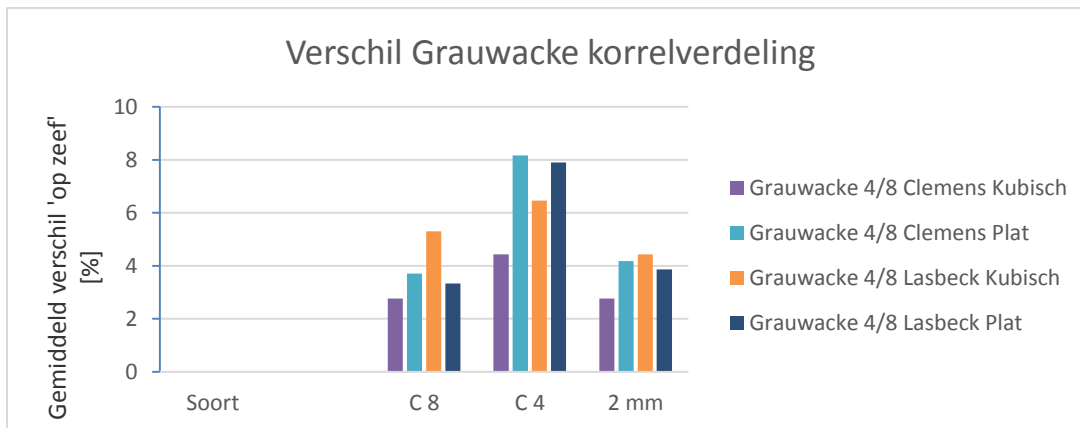
Bevindingen vergelijking HRS waarden

1. HRS van de steensoorten met platte sortering is niet altijd hoger dan kubische sortering.
 - a. Slechts bij Bestone 4/8 zeef 1, Grauwacke Lasbeck en beide Morene steenslag monsters is de HRS van de platte sortering groter dan de kubische sortering. De HRS-waarden van de platte monsters zijn 0,3 tot 0,6% hoger.
 - b. Bij Bestone 4/8 Antwerpen en Grauwacke Lasbeck weinig tot geen verschil zichtbaar per steen tussen kubische en platte sortering.
 - c. Bij Bestone 4/8 zeef 1 is de HRS waarde van platte sortering kleiner dan de kubische sortering
2. Range van HRS van de laboratoria varieert tussen 37 en 38,5% voor kubische sortering. Bij platte sortering varieert HRS tussen 37 en 38%.
3. Voor HRS wordt dezelfde ranking in steenslagsoorten gevonden bij kubische en platte vorm: Bestone heeft laagste HRS gevolgd door Grauwacke en Morene steenslag.
4. Er is een grote spreiding in HRS-waarden (max-min) per individuele steenslagsoort gevonden. Het is lastig om conclusies te trekken over de gemiddelde HRS waarde.
5. Verificatie onderzoek door het laboratorium dat alle monsters heeft onderzocht, geeft dezelfde trends te zien als de andere zes laboratoria.
6. Het onderzoek bij het laboratorium dat alle monsters heeft onderzocht, gaf vrijwel dezelfde resultaten voor Bestone en Grauwacke Clemens. Bij Grauwacke Lasbeck en Morene 4/8 is de HRS significant kleiner.

Verskil korrelverdeling

Ook is gekeken naar het verschil in de korrelverdeling voorafgaand en na het beproeven. Dit geeft inzicht in de weerstand tegen verbrijzeling van de steen en wordt gebruikt om de mastiek fractie te corrigeren. Het gehalte steen < 2 mm wordt dan bij de mastiek opgeteld. De verschillen in korrelverdeling voor en na beproeven zijn weergegeven in figuur 5.





Figuur 5. Verschil in korrelverdeling voor en na uitvoeren HRS-proef per type steenslagsoort en per type sortering

Slechts bij Bestone (Graniet Import en Antwerpen) en Grauwacke Clemens is het verschil op zeef 2 mm voor de steen met circa 30% platte stukken groter dan de kubische sortering. Bij de andere steensoorten is het zelfs andersom (Grauwacke Lasbeck en Morene Chalampe) of vrijwel gelijk (Morene Uhl Altenheim). Deze bevindingen zijn in lijn met de eerdere conclusie dat de HRS niet onderscheidend is als sturingsmiddel voor de invloed van de korrelvorm.

Conclusies HRS-onderzoek

De werkgroep concludeert dat de gevonden verschillen in HRS tussen de steenslagsoorten en varianten (100% kubisch en ca. 70% kubisch/30% plat) klein zijn. De verwachting was dat de verschillen tussen steenslagsoorten en de twee varianten daarvan groter zouden zijn. Mede gezien ook de spreiding in de resultaten, wordt vastgesteld dat geen significante verschillen zijn gevonden tussen de gemiddelde HRS-waarden.

De verschillen in de gemiddelde HRS-waarden zijn in de orde van grootte van 1%. Ervaring vanuit de asfaltproductie is dat verschil van 1% in de HRS een verschil van 0,3 á 0,6% oplevert op zeef 2 mm. Dit verschil is in de praktijk te verwaarlozen.

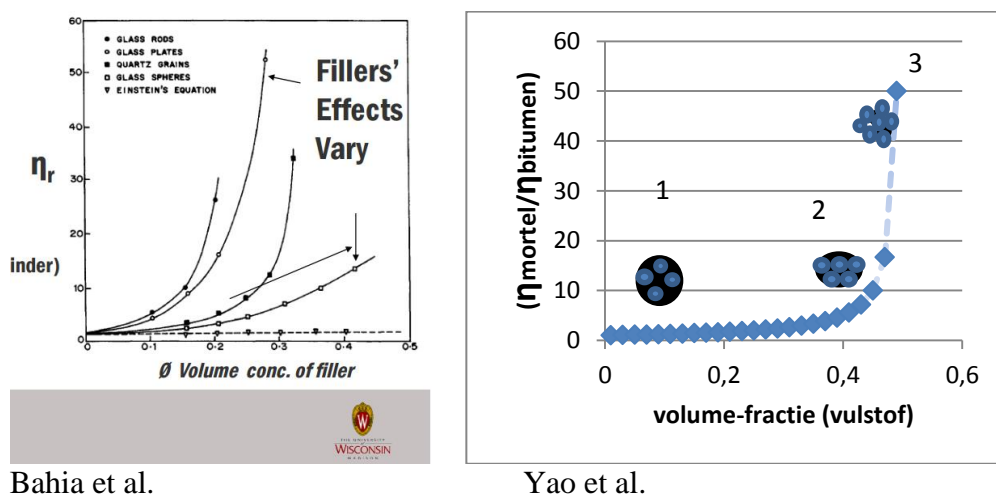
De conclusie van de werkgroep is dat de HRS-proef, op basis van de onderzochte steenslagsoorten, als sturingsmiddel niet onderscheidend is voor de invloed van de platte stukken in de steenslag.

6. Onderzoek viscositeit mastiek

De volumetrie van een SMA mengsel is, zoals al eerder in deze paper beschreven, een essentiële factor bij het ontwerpen en produceren van een SMA. Er is echter ook een sterk vermoeden dat de viscositeit van de mastiek een bepalende factor is in het welslagen. In Nederland is er nog nauwelijks ervaring opgedaan met het bepalen van een optimale viscositeit voor de mastiek van een SMA mengsel. Voor zover bekend in ieder geval nog niet met de behulp van een Dynamic Sheer Reometer (DSR). Deze voor mastieken nieuwe onderzoeksmethodiek opent de weg naar een verder optimalisatie. De werkgroep heeft hier verkennend onderzoek naar gedaan.

6.1 Theorie mastiek viscositeit

De relatieve viscositeit van mastiek is hoger dan de viscositeit van het bitumen. De toename is een gevolg van het verstijvend effect als gevolg van het hoge specifieke oppervlak van de vulstof(fen) en zand(en) in de mastiek. De toename van de viscositeit hangt voor een deel af van de volumetrische samenstelling van de met bitumen overvulde mastiek. Hetzelfde geldt voor mortel. Figuur 6 geeft zo'n relatie op de basis van mortel en bitumen weer.



Figuur 6. Effecten van vulstof/bitumen op de relatieve viscositeit van de mortel

Een vullingsgraad tussen 1 en 2 (zie figuur 6 Yao) is ideaal, omdat de mortel-viscositeit tussen bepaalde grenzen zit. Op mortelniveau is deze kennis in een bepaalde mate al beschikbaar. Maar voor mastiek is deze kennis nieuw.

Door het hoge specifieke oppervlak en de holle ruimte in het verdichte vulstofskelet (HR Rigden) is de vullingsgraad 2 (figuur 6) de kritische grens. Belangrijk punt hierbij is de scherpe knik in de ratio vulstof/bitumen (zie figuur 6, rechts). Bij een kleine variatie in vulstof/bitumen ratio in dit gebied kunnen de morteleigenschappen enorm verschillen. Dit geldt ook voor mastiek en moet dus in de praktijk vermeden worden.

Met gebruik van DSR heeft BAM Infra de viscositeit van verschillende mastieksamenstellingen van SMA mengsels beproefd. Uit deze quick scan bleek dat variatie in de soort zand en vulstof en volumeverhouding zand/vulstof een significant effect hebben op de viscositeit van de mastiek. Het onderzoek was uitgevoerd op mastieksamenstellingen, zoals

die gedurende de vijfjarige levensduur van een typeonderzoek in de praktijk voor kunnen komen. De recepten waren dus representatief voor de werkelijke spreiding tijdens de productie van SMA.

De werkgroep zal het voorjaar van 2016 gebruiken om meer inzicht te verkrijgen in de effecten op viscositeit als gevolg van verschillen in zand/vulstof ratio's in mastiek. De resultaten hiervan zullen tijdens de Infradagen gepresenteerd worden.

De werkgroep verwacht dat door het beheersen van de viscositeit van de mastiek en de HRS tijdens de productie de sleutels zijn naar het beheersen van de kwaliteit van SMA mengsels.

Referenties

1. Eindrapport CROW IVO SMA
2. Auke Wierda, Martin van de Ven en Jan Voskuilen. Memo Rijkswaterstaat Directie Noord-Nederland: Aangelegde proefvakken steenmastiëkasfalt. Visuele inspecties na 10 - 12 jaar openstelling. 11 mei 2015