

# Is er niet meer uit materialen LOT te halen?

Jan Voskuilen<sup>1</sup> en Steven Mookhoek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rijkswaterstaat, GPO

<sup>2</sup> TNO Built Environment, Business Line Infrastructure

## Samenvatting

Al in 2007 is het materialen LOT, Lifetime Optimalisatie Tool, door de TUD ontwikkeld, waarmee op basis van materiaaleigenschappen van mastiek, kennis van de constructie en belastinggegevens de levensduur van ZOAB kan worden berekend. Daarnaast heeft TNO een proces LOT ontwikkeld, waarmee invloed op de levensduur van ZOAB van productie, transport en verwerking is in te schatten.

Ondanks dat iedereen het over eens is dat met materialen LOT vele stappen tegelijk vooruit zijn gezet, wordt het nog maar mondjesmaat toegepast. Enerzijds komt dit omdat er weinigen zijn die de sommen kunnen maken en anderzijds zijn de hoge aanschafkosten van hardware (apparatuur labproeven) en software (3D EEM) een belemmering. Ter verbetering van dit laatste wordt eraan gewerkt om software voor LOT breder beschikbaar te stellen in de vorm van een stand-alone programma. Met dit fysische model kan op basis van een aantal materiaaleigenschappen, de verkeersbelasting en de geometrie van de asfaltconstructie een voorspelling worden gedaan van de relatieve levensduur van ZOAB-achtige mengsels. De fysische karakterisering van materialen, die als input wordt gebruikt voor het model, wordt gedaan met bestaande en nieuw toegepaste meettechnieken op proefstukken in het laboratorium. Met een Eindig Elementen Model wordt dan vervolgens de belasting van een band op een korrelstructuur gesimuleerd. Het model levert een prognose op van het cohesief en adhesief falen van de korrelstructuur.

In eerste instantie is LOT gevalideerd in de STUVA, een semi-praktijkproef. Daarna is LOT succesvol gebleken in het vinden van een verklaring van het optreden van vorstschade in relatief jonge ZOAB en het niet optreden van vorstschade in relatief oud ZOAB. Dit geeft vertrouwen in de zeggingskracht van LOT, alhoewel er nog wel e.e.a. kan worden verbeterd. Enkele aannemers in Nederland zijn ook zelf aan de slag gegaan met LOT en hebben er hun voordeel mee behaald en hebben nieuwe kennis ontwikkeld. Het is in onze ogen voor de sector echter jammer dat de uit LOT voortvloeiende kennis niet meer verder gedeeld wordt, opdat iedereen hier zijn voordeel hier mee doen. Het collectief opslaan van relevante kennis in gelijke standaarden biedt kansen tot het systematischer kunnen onderzoeken van (nieuwe) ZOAB mengsels en de objectievere beoordeling ervan. Om voor alle partijen een kans te bieden gebruik te maken van de beschikbare kennis, stellen wij voor een landelijke database te laten opstellen, door een onafhankelijke instantie, die gevuld kan worden met alle tot nu toe bepaalde meetdata aan LOT parameters en die in de toekomst. Indien aannemers moeite hebben om hun mengsel openbaar te maken, kan ook e.e.a. worden geanonimiseerd. Ook zou een database kunnen worden gevuld met monitoringsgegevens van wegvakken, die met de "LOT" mengsels zijn aangelegd. Op deze wijze kan het gedrag van de onderzochte mengsels worden geëvalueerd en worden gecorreleerd met de LOT berekeningen. Als die kennis openbaar kan worden gedeeld, kan iedereen er zijn voordeel mee doen en ontstaat er een win/win situatie. In deze paper worden ideeën aangedragen over wie zo'n database zou kunnen beheren, met welke gegevens deze gevuld zouden kunnen worden en hoe e.e.a kan worden geëvalueerd.

## 1. Inleiding

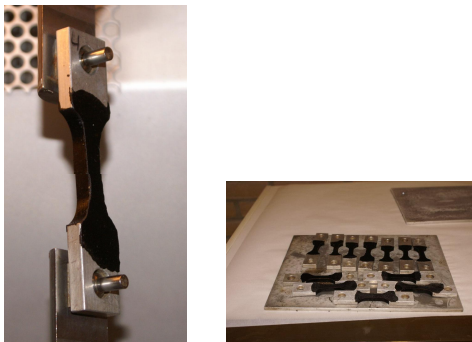
Het materiaal-LOT is al in 2007 ontwikkeld door de TU Delft [1]. Met als invoerparameters materiaaleigenschappen, die de adhesieve en cohesieve krachten karakteriseren, en de geometrie van de constructie inclusief de belasting hierop kan met dit fysische model een voorspelling worden gedaan van de relatieve levensduur van ZOAB-achtige mengsels. De karakterisering van de fysische eigenschappen is gedaan met bestaande en nieuw toegepaste meettechnieken op proefstukken in het laboratorium. Het nieuwe hiervan is dat niet het ZOAB zelf is beproefd, maar de mastiek (zand+vulstof+bitumen). Het gedrag van de uit mastiek bestaande hechtbruggen bepaalt voornamelijk de levensduur van het ZOAB. Met een Eindig Elementen Model (EEM) wordt de belasting op het steenskelet inclusief de hechtbruggen gesimuleerd. Het resultaat van de EEM berekening geeft op basis van het cohesief en adhesief falen van het ZOAB inzicht in de te verwachten levensduur.

## 2. Labproeven voor meten sterkte en vervorming

Voor het bepalen van de invoerparameters voor het materialen LOT-model zijn proeven ingezet voor het meten van de respons- en sterkteparameters van mastiek. Dit zijn de Direct Tension Test (DTT), de Dynamic Shear Rheometer (DSR) en de Dynamic Material Analyser (DMA). Bij de DTT gaat het om een bestaande proef op mastiek. Voor de DMA en de DSR zijn voor LOT nieuwe proeven op mastiek en adhesieve zone tussen steen en mastiek ontwikkeld. Met deze proeven is het responsgedrag en vermoeiingsgedrag van de mastiek bepaald en de sterkte van de adhesieve zone. De voorgenomen DMA-proeven met betrekking tot vermoeiing hebben nog geen succesvolle resultaten opgeleverd.

### 2.1 Direct Tension Test (DTT) op mastiek

De DTT is een directe trekproef die wordt uitgevoerd op zogenaamde slanke (“dog bone shape”) proefstukjes. Met de DTT wordt met een constante vervormingssnelheid gecontroleerd aan deze proefstukjes getrokken, terwijl de hiervoor benodigde kracht continu wordt gemeten. Na het bereiken van de maximale vervorming wordt deze vastgehouden en relaxeert de in het proefstuk aanwezige spanning weg. Deze relaxatie wordt gemeten. Het resultaat van de DTT metingen is een volledig respons signaal. Op basis van dit signaal kunnen de Visco-elastischeresponsparameters van de mastiek voor elke individuele proef nauwkeurig worden vastgesteld.



Figuur 1. De DTT proef, met de proefopstelling (links) en proefstukjes (rechts)

## 2.2 Dynamic Shear Rheometer (DSR) op mastiek en steenkolom

Met de DSR kunnen gecontroleerd deformaties op proefstukjes worden aangebracht, waardoor het mogelijk is om proefstukjes bloot te stellen aan schuifspanningen. De DSR is toegepast op mastiek en op steenkolommetjes (steen-bitumen-steen proefstukken).

Met de DSR zijn twee type proeven op mastiek uitgevoerd. Met frequency sweeps is het respons gedrag over een brede range aan frequenties en temperaturen te bepalen. De resultaten van deze proeven zijn gebruikt om de DTT respons metingen te veralgemeniseren over een breed spectrum van temperaturen en reksnelheden. Verder is de DSR gebruikt om de ontwikkeling van vermoeiingsschade in mastiek onder herhaalde schuifspanning vast te leggen, waarbij de vervorming en de fasehoek continu gemeten.

De DSR proef is ook gebruikt voor het bepalen van de weerstand tegen vermoeiing van de adhesieve laagjes. Bij deze proeven is gebruik gemaakt van twee steenkolommetjes die met een 15  $\mu\text{m}$  dun bitumenlaagje aan elkaar zijn geplakt. De proefstukjes zijn met de DSR blootgesteld aan schuifspanningen totdat volledige bezwijking optrad.



**Figuur 2 Steenkolomproefstukje**

## 2.3 Dynamic Material Analyser (DMA)

Met de DMA kunnen dynamisch krachten en deformaties op proefstukjes worden overgedragen. In vergelijking tot de DSR kan de DMA gebruikt worden voor het opleggen van krachten en deformaties hoofdzakelijk gericht op de ontwikkeling van normaalspanningen in plaats van afschuifspanningen in het profestuk. De DMA is toegepast op zowel mastiek als steenkolommetjes.

Er zijn frequency sweeps uitgevoerd op mastiek. Het doel van deze proeven was om de resultaten van de DTT proeven te veralgemeniseren. De combinatie van de DSR frequency sweeps en de DMA frequency sweeps is gebruikt om een indruk te krijgen van het respons gedrag van mastiek onder meer complexe spanningstoestanden (combinaties van schuif- en normaalspanningen) goed op elkaar aansluiten.

De toepassing van de DMA op de steenkolommetjes had tot doel om de weerstand tegen vermoeiing van de adhesieve zone onder normaalspanningen te meten. Met de DMA is de adhesieve zone hiertoe blootgesteld aan normaalspanningen. Er zijn proeven gedaan met verschillende lastsignalen om ook de invloed hiervan in modellen op te kunnen nemen. Gecombineerd met de resultaten van de DSR proeven op de adhesieve zone ontstaat nu een volledig beeld van de ontwikkeling van schade in de adhesieve zone; zowel onder normaal- als onder schuifspanning en tevens onder blootstelling aan diverse lastsignalen.

## 2.4 Waterschade en veroudering in LOT

Ook is onderzocht wat de invloed is van water en veroudering op het karakteriseren van de materialen. Veroudering bij productie is in het onderzoek gesimuleerd door alle bitumen en mastiek gedurende anderhalf uur in een oven bij 175°C te zetten. Het bitumen en de mastiek werden in platen gegoten en deze platen werden vervolgens in de oven geplaatst.

Voor de lange termijn veroudering is aangesloten bij meer fundamenteel onderzoek.

De fasehoek van verouderd materiaal is wat lager dan bij niet-verouderd materiaal, conform de verwachting, maar het verschil is niet groot. In de adhesieproef is de invloed van veroudering niet zichtbaar.

Om de invloed van water op het materiaalgedrag te onderzoeken zijn proefstukken, zowel mastiek als steen-mastiek proefstukken, gedurende 1 uur bij een druk van 0.85 atmosfeer onder water geplaatst. Uit het LOT onderzoek blijkt dat met de gebruikte protocollen de invloed van veroudering en water op de response van mastiek gering is. Water heeft een beperkte invloed op de adhesie tussen steen en mastiek.

Voor beide aspecten wordt aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren.

## 3. Validatie en LOT onderzoeken

### 3.1 Validatie LOT

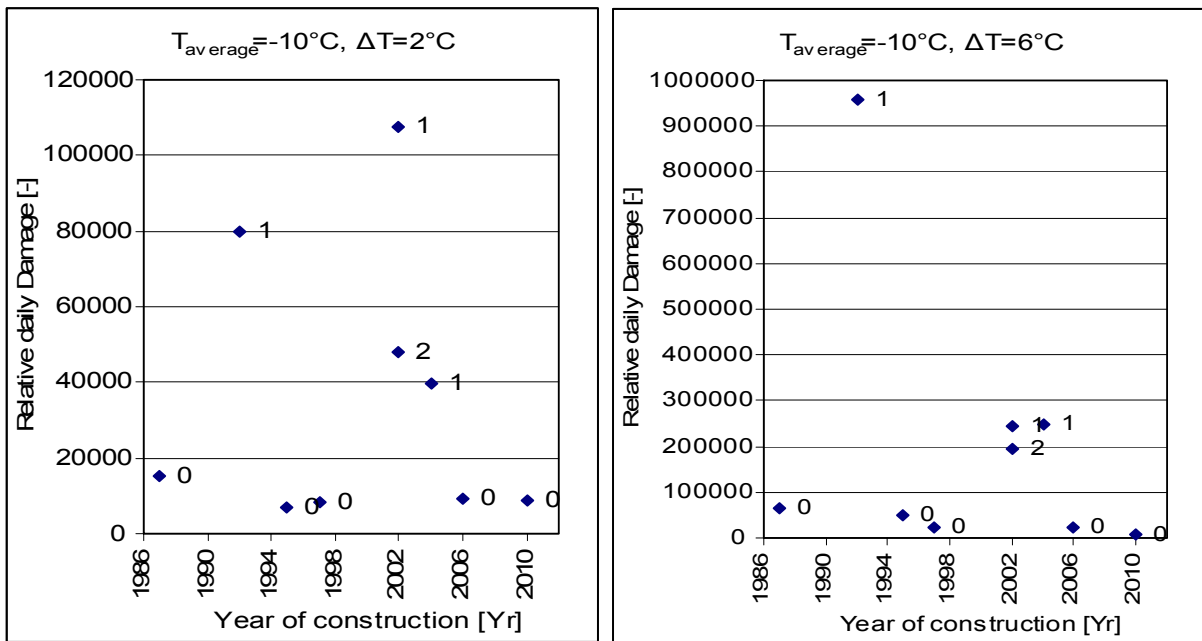
Het materiaal-LOT is gevalideerd in de STUVA te Keulen. Dit is een carrouselachtige semi-praktijkproef (diameter 10 m), waar met een rondrijdende vrachtwagenband op een gecontroleerde wijze schuifkrachten op het ZOAB oppervlak kunnen worden aangebracht. In de STUVA zijn 2 “slechte” en 2 “goede” toplaag TLZOAB mengsels beproefd op rafeling. De mate van rafeling aan het einde van de proef is zowel visueel beoordeeld als met een laser gemeten. De ranking van de levensduren berekend met EEM kwam behoorlijk goed overeen met de ranking van semi-praktijkproeven in de STUVA.

### 3.2 Winter LOT

In de strenge winter 2008/2009 was er meer vorstschade in ZOAB geconstateerd dan in voorgaande zachtere winters. Opvallend hierbij was dat de vorstschade niet altijd afhankelijk was van de leeftijd van het ZOAB. Zo was er op bepaalde locaties vorstschade geconstateerd in vrij jonge ZOAB wegvakken, terwijl oudere ZOAB wegvakken geen vorstschade vertoonden.

Om te onderzoeken wat de oorzaak was van dit verschillend gedrag zijn boorkernen genomen uit relatief jonge ZOAB wegvakken met vorstschade en boorkernen uit oude ZOAB wegvakken die geen vorstschade vertoonden. Op teruggewonnen mastiek uit de boorkernen zijn de LOT proeven uitgevoerd. De uitgevoerde EEM berekeningen waren onderscheidend voor levensduren in de praktijk. Ongeacht de leeftijd van het ZOAB, bleek dat de stijfheid van de mastiek bepalend was voor het ontstaan van vorstschade en levensuur van het ZOAB (zie figuur 1). De ZOAB mengsels met een te hoge stijfheid (gemarkt met een 1 of 2) vertoonden vorstschade, de ZOAB mengsels met een relatief lage stijfheid (gemarkt met 0) niet. In het winter LOT is dit zichtbaar gemaakt door de relatieve dagelijkse schade te berekenen. Zie voor meer achtergrondinfo [2].

Op deze wijze kon met LOT onderzoek een verklaring worden gegeven voor het verschillend gedrag van ZOAB in de praktijk. De stijfheid van de mastiek in de tijd is dus niet altijd een logisch gevolg van de veroudering van het bitumen in de tijd. Er zijn dus andere invloedsfactoren.



Figuur 1. Relatieve dagelijkse schade mastiek onafhankelijk van de ouderdom.

### 3.3 Onderzoek naar ZOAB met acryl vezels

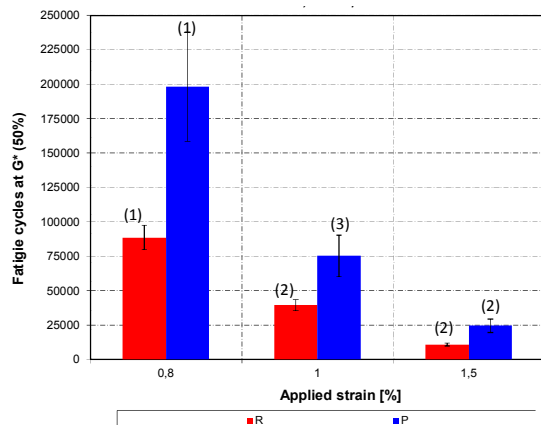
In 2005 zijn op de A15 nabij Leerdam 6 proefvakken aangelegd met de toplaag TLZOAB om de aanvangstroefheid te verbeteren. Zie voor de samenstelling tabel 1 en voor meer achtergrondinformatie [3].

Proefvak	DV	BAM	H1	H2	R1	R2
Steenslag	Bestone 4/8		Gres d' Ardennes 2/6	Gres d' Ardennes 2/6 + Andesit 4/8	Gres d' Ardennes 2/6 + Andesit 4/8	Gres d' Ardennes 2/6 + Andesit 4/8
Speciale additiven	Glanzkieis 0/1	EUF 1	fijn zand		PAN 6.4	PAN 3.2
% bitumen 70/100 "op"						6.1
% PMB "op"	5.5	5.5	6.5	6.1	6.1	

Tabel 1: Mengselsamenstellingen A15 toplagen TLZOAB.

Proefvakken DV, BAM, H1 en H2 betroffen modificaties aan minerale aggregaat, aan mengsels R1 en R2 werden Panacea acrylvezels toegevoegd met een lengte v resp. 6,4 en 3,2 mm. Opmerkelijk is dat R2 geen PMB bevatte, maar een bitumen 70/100. Na de metingen t.b.v. de aanvangstroefheid zijn de proefvakken verder in de tijd gemonitord op duurzaamheid. Proefvakken DV en BAM moesten vanwege vroegtijdige rafeling al in 2010 worden vervangen. Opmerkelijk was dat in 2013 mengsel R2 nog steeds goed acteerde. Om te onderzoeken waarom dit mengsel zo goed acteert, is microscopisch onderzoek uitgevoerd op proefstukken uit de weg en zijn tevens van uit de weg teruggewonnen mastiek de invoerparameters bepaald voor het winter LOT. Zie voor meer achtergrondinfo [2]. Om te onderzoeken wat de invloed van de Panaceavezels is op de vermoeiingsweerstand, zijn op het lab mastiekmengsels vervaardigd met dezelfde mengselsamenstelling, met uitzondering van de vezels. De ene mastiek bevatte geen vezels (R), de andere mastiek bevatte Panacea vezels

(P). Opvallend wat dat de mastiek met Panacea vezels een beduidend betere weerstand had tegen vermoeiing (zie figuur 2).



Figuur 2. Resultaten van DSR vermoeiingsproeven van mastieken zonder (R) en met (P) vezels bij 10°C en een frequentie van 10 rad/s.

Dat een toplaag van Tweelaags ZOAB met bitumen 70/100 en Panaceavezels zo'n lange levensduur (nu 9 jaar oud) kan halen, komt waarschijnlijk door de goede vermoeiingsweerstand van de mastiek hechtbruggen. Indien er geen vermoeiingsscheurtjes ontstaan, zijn de hechtbruggen beter bestand tegen erosie. Als de buitenste schil van de hechtbrug intact blijft, wordt mogelijk ook een betere weerstand tegen veroudering verkregen.

#### 4. Niet openbaar onderzoek

Bovenstaande resultaten zijn het resultaat van openbaar onderzoek en de kennis opgedaan uit deze resultaten is door meerdere partijen opgepakt om verdere ontwikkelingen mogelijk te maken en tot betere deklagen te komen.. Naast de in hoofdstuk 3 genoemde openbare onderzoeken, zijn dan ook de laatste jaren een aantal onderzoeken met materialen en LOT uitgevoerd, waarvan de resultaten niet openbaar bekend zijn gemaakt. Dit betreffen onderzoeken, die door aannemers in eigen beheer zijn uitgevoerd of in opdracht van aannemers door TUD/TNO of onderzoeken die in het kader van het InnovatieTestCentrum van Rijkswaterstaat zijn uitgevoerd. Deze onderzoeken hebben tot een aanzienlijke kennisvermeerdering geleid, die helaas niet openbaar wordt gedeeld. Aan de ene kant is het begrijpelijk dat aannemers vanwege de investering in het onderzoek en het ten gelde maken van de nieuwe kennis de onderzoeksresultaten niet openbaar maken, maar aan de andere kant is het zonde dat (een deel) van deze kennis niet op een dergelijke manier wordt gedeeld dat de BV Nederland er zijn voordeel mee kan doen. Aannemers die in LOT investeren hebben een voorsprong op de markt en kunnen de investering mogelijkerwijs in korte tijd terug verdienen. Het zou mooi zijn als de kennis daarna openbaar wordt gemaakt, want daarmee zou het algemene kennisniveau in Nederland op dit gebied een enorme boost kunnen krijgen.

#### 5. Aanbevelingen

Nederland is het land waar ZOAB in vergelijking met dichte deklagen het meest wordt toegepast als deklaag op autosnelwegen. Sinds 1990 wordt het mengselontwerp voor ZOAB uitgevoerd op basis van empirische proeven. Omdat het gewenste mengsel wordt gekozen op basis van de eisen voor holle ruimte en watergevoeligheid wordt niet gestreefd naar

verbetering van rafelingsweerstand. Sinds de invoering van ZOAB in Nederland is de mengselsamenstelling niet of nauwelijks gewijzigd. Ook zijn maar weinig functionele proeven voor ZOAB beschikbaar, die een voorspellend vermogen hebben voor de levensduur van ZOAB. Toch worden er relatief lange levensduren bereikt met ZOAB, maar met behulp van LOT kan daar nog sterk verbetering in worden aangebracht. Bij het onderzoek of innovatieve ZOAB mengsels een langere levensduur hebben, worden LOT proeven wel in toenemende mate ingezet.

Jarenlang is de samenstelling van de mastiek van ZOAB onveranderd gebleven. Door DRI [5] en RWTH [6] is onafhankelijk van elkaar vastgesteld dat de mastiek hechtbruggen van ZOAB in de tijd gaan eroderen. Als gevolg hiervan vermindert de weerstand tegen rafeling. Ook is gebleken dat rafeling ook het gevolg kan zijn van adhesieve of cohesieve breuk van mastiek. Door nu de eigenschappen van mastiek m.b.v. het materialen LOT te verbeteren, kan potentieel een aanzienlijke langere levensduur van ZOAB worden verkregen. Om deze stap vooruit te maken, is het noodzakelijk dat de ontwikkelde kennis op dit gebied gedeeld wordt en niet alleen bij enkele individuele aannemers blijft. Om deze kennis te ontsluiten wordt aanbevolen om een onafhankelijke organisatie (IQ, CROW, VBW?) een database te laten beheren, waarin alle tot nu beschikbare kennis en in de toekomst te ontwikkelen kennis van het materialen LOT wordt opgenomen. Indien aannemers bezwaren hebben om specifieke mengselkennis te delen, zou deze kennis ook anoniem gemaakt kunnen worden.

Als mengsels, waarvan de LOT parameters zijn bepaald en ook in de weg worden aangelegd, zou de monitoring van deze mengsels ook in de database moeten worden opgenomen. Op deze wijze zou meer kennis kunnen worden opgebouwd over de correlatie tussen de LOT resultaten en het praktijkgedrag. Mogelijk zou het LOT op basis hiervan kunnen worden aangepast of uitgebreid. Als bv. zou blijken dat vochtinvloed of veroudering er onvoldoende in zit, zou het LOT hierop kunnen worden aangepast.

Tot nu toe zijn de EEM berekeningen met Abaqus uitgevoerd. De aanschaf hiervan is duur en er is hooggeschoold personeel voor nodig om de LOT berekeningen uit te voeren. Om het rekenen met LOT toegankelijker te maken, wordt door TUD een stand-alone versie ontwikkeld zodat de drempel wat lager komt te liggen. Nu vele aannemers zelf DSR apparatuur hebben aangeschaft om de constantheid van bitumen en mastiekmengsels te controleren (ingangs, - en productie controle), is de stap om zelf LOT parameters te bepalen met mastiek proeven al wat gemakkelijker geworden. Naast de TUD heeft de TU Antwerpen het voornemen om binnenkort ook proeven uit te voeren t.b.v. het bepalen van LOT invoerparameters. Kortom, de drempel om met het materialen LOT aan de slag te gaan is een stuk lager dan in 2007. Op basis daarvan wordt verwacht dat in de nabije toekomst er meer aannemers met materialen LOT gaan werken. Het zou een gemiste kans zijn als de dan ontwikkelde kennis niet gedeeld wordt in een LOT materialen database, want daarmee zou de kennisvermeerdering van ZOAB in een stroomversnelling komen.

## Referenties

[1] Huurman, R., paper WBW 2008

[2] Woldekidan M.F., Voskuilen J., Vliet D. en Leegwater G.A., Research into Applications of Acrylic Fibres in Porous Asphalt: Laboratory, Numerical and Field Study, RILEM 2013 Stockholm

[3] Siedenburg, H.C. en Gerritsen W. ,Verbetering aanvangsstroefheid Tweelaags ZOAB Proefvakken A15 te Leerdam Eindrapport IPG 0500218, December 2005, DWW-2005-086

[4] Huurman, M., Jacobs, M. en Mohan, S., LOT en de verklaring van winterschade, CROW Infradagen 2012

[5] Universiteit van Aken (RWTH), Final report 2006. Learning from the road.

[6] Bredahl Nielsen, C, 2007. Assetment of Porous Asphalt - How to look inside. DVS report 2007-035.