

The sound of silence

M. Huurman, M.F. Woldekidan

BAM Wegen

Inleiding

In ons druk bevolkte land is verkeersgeluid al jaren een belangrijk punt van aandacht. Met de introductie van ZOAB en tweelaags ZOAB is het geluidsniveau dat onze snelwegen afgeven beperkt gehouden. Op provinciale wegen worden DGD's toegepast om ook de geluidsdruk van het secundaire wegennet te beperken.

De overheid wil de geluidsdruk van wegen verder terugbrengen en heeft daarom de geluidswetgeving SWUNG aangenomen. De geluidswetgeving SWUNG dwingt Rijkswaterstaat om nog stillere wegdekken toe te passen. Rijkswaterstaat streeft naar een wegdek dat een geluidsreductie van 10 dB combineert met een levensduur van 7 jaar. Met haar project UltraStil Wegdek, USW, zet Rijkswaterstaat in op de ontwikkeling van zo'n wegdek door de markt. USW's moeten vanaf 2020 toepasbaar zijn op het Rijkswegennet.

BAM Wegen wil haar bijdrage leveren aan een stiller Nederland en is daarom gestart met de ontwikkeling van een UltraStille Deklaag, USD. Bij deze ontwikkeling wordt uitgegaan van duurzaamheid: de USD moet een levensduur van minimaal 7 jaar hebben. Deklagen met een kortere levensduur zullen naar verwachting immers niet worden toegepast omdat deze te duur zijn, leiden tot te veel verkeershinder i.v.m. vervangingswerkzaamheden en niet duurzaam zijn i.v.m. verbruik van grondstoffen en energie. De USD moet bij de gegeven levensduur van minimaal 7 jaar zo stil als mogelijk zijn en liefst 10 dB aan reductie opleveren.

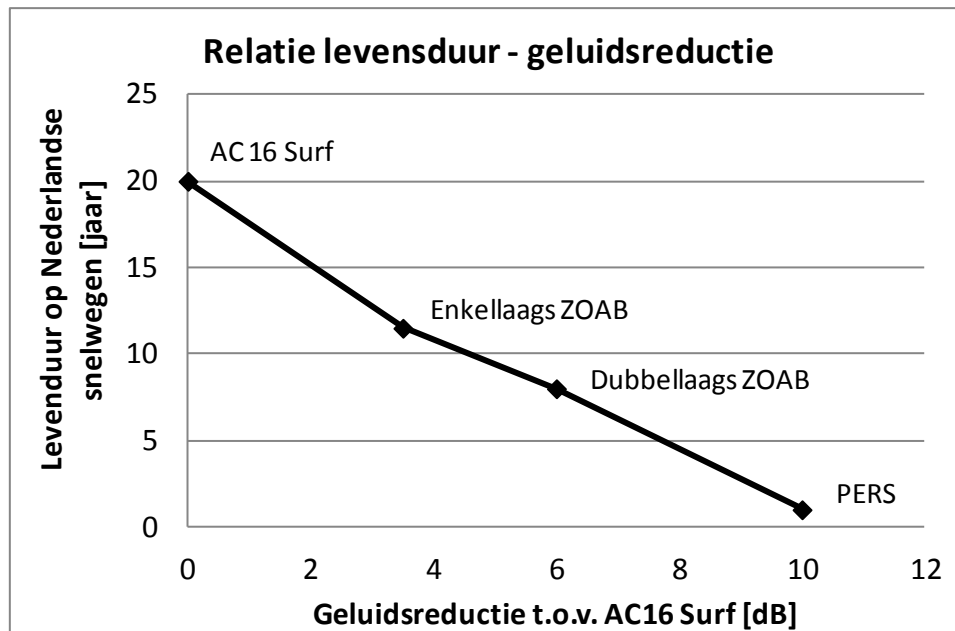
In deze bijdrage wordt de USD die BAM Wegen ontwikkeld toegelicht. Voorlopige resultaten worden besproken.

State of the art

In Nederland wordt de geluidsreductie van deklagen bepaald ten opzichte van een referentie wegdek van DAB, ofwel AC 16 Surf. Een dergelijke deklaag geeft dus per definitie 0 dB reductie en gaat, toegepast op een rechterrijstrook van een Nederlandse snelweg, ongeveer 20 jaar mee. Enkellaags ZOAB geeft een geluidsreductie van gemiddeld 3.5 dB en heeft een levensduur van 11.5 jaar. Tweelaags ZOAB geeft een gemiddelde reductie van 6 dB en heeft op snelwegen een levensduur van gemiddeld 8 jaar. De hoogste geluidsreductie wordt bereikt met een PoroElastic Road Surfaces, PERS. Dit type deklagen geeft geluidsreducties die kunnen oplopen tot meer dan 10 dB. De levensduur van een PERS varieert van enige weken tot maximaal zo'n 18 maanden. Omdat er nog weinig ervaring is met het toepassen van PERS-en zijn de genoemde getallen gebaseerd op internationale ervaringen. Gerapporteerde geluidsreducties zijn hierdoor op wisselende manieren bepaald. De gerapporteerde levensduren hebben nooit betrekking op snelwegen, maar hooguit op toepassing op binnen stedelijke wijkontsluitingswegen (1). Het lijkt echter redelijk om aan te nemen dat een PERS

bij toepassing op een Nederlandse snelweg een geluidsreductie van 10 dB zal combineren met een levensduur van maximaal 1 jaar.

Wanneer de genoemde combinaties van levensduur en geluidsreductie worden uitgezet in een grafiek ontstaat het volgende beeld.



Figuur 1. Relatie tussen levensduur en geluidsreductie van bestaande deklagen bij toepassing op de rechter rijstrook van Nederlandse snelwegen.

Figuur 1 toont een bijna lineair verband tussen geluidsreductie en levensduur. Natuurlijk is er op de figuur het nodige aan te merken, vooral doordat de figuur geen rekening houdt met spreiding in zowel levensduur als geluidsreductie. Maar, in algemene zin en uitgaande van gemiddelden is de figuur zeker geldig. Opgemerkt wordt dat het maatgevende schadebeeld bij enkel en dubbellaags ZOAB bestaat uit rafeling.

Een PERS combineert een lage stijfheid en daarmee een lage akoestische impedantie met een hoog percentage onderling verbonden holle ruimten. Er zijn meerdere manieren om een PERS te maken. Over het algemeen wordt het holle ruimte percentage bereikt doordat PERS, net als ZOAB, een discontinue gradering heeft. De lage stijfheid wordt bereikt door de steenfractie geheel of gedeeltelijk te vervangen door rubber deeltjes. Als bindmiddel worden naast bitumen ook andere materialen toegepast (veelal polyurethaan) (2). De maatgevende schade beelden bij PERS zijn (3):

1. Stroefheid bij nat wegdek,
2. Duurzaamheid,
3. Hechtsterkte aan de onderlaag.

Als je doet wat je altijd deed, krijg je wat je altijd kreeg

De ondertitel van (2) uit 2011 luidt: "A review of 30 years of R&D work". In dit werk wordt verwezen naar eerste proefnemingen met PERS in de periode 1975-1989. Geconcludeerd wordt hieruit dat er nu ongeveer 35 jaar onderzoek is gedaan naar PERS. Het betreft een

internationale inspanning die uiteindelijk resulteert in het beeld dat wordt samengevat door Figuur 1. Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat de kans erg klein is dat er in 2020 voor Nederlandse snelwegen een PERS beschikbaar is, als wordt voortgegaan op de weg die zo'n 35 jaar geleden is ingezet. Op basis van deze conclusie wordt door BAM Wegen ingezet op een afwijkende koers, immers.

If it doesn't work change something

AOT en LOT

De koers die BAM Wegen inzet is gebaseerd op ontwikkelingen van veel recentere datum. In 2007 zijn AOT (Acoustic Optimization Tool) en LOT (Lifetime Optimization Tool) ontwikkeld. In de jaren die daarop volgden is de kracht van zowel AOT als LOT herhaaldelijk aangetoond en zijn beide tools verder ontwikkeld.

AOT heeft ons duidelijk gemaakt dat de geluidsreductie die met een deklaagsysteem kan worden bereikt afhankelijk is van:

- 1 De oppervlaktetextuur. Bij voldoende holle ruimte is een steenmaat van 4 tot 6 mm optimaal voor de reductie van geluid.
- 2 Porositeit. Om geluidsreductie te verkrijgen moet het hoorneffect worden voorkomen. Om dit te bereiken moeten holle ruimten onderling verbonden zijn. Bij voorkeur moeten smalle kanaaltjes ontstaan met verschillende lengten. De opendeklaag moet een dikte hebben die zo gekozen is dat geluidabsorptie vooral plaatsvindt in het frequentiegebied waarin ook het hoorneffect optreedt. Voor dubbellaags ZOAB is een totale dikte van 50 tot 70 mm optimaal.
- 3 Stijfheid / mechanische impedantie. Door de stijfheid van de deklaag te reduceren worden variaties in de krachtjes die banden op het wegdek uitoefenen voorkomen. Hierdoor worden trillingen in de band verminderd en wordt het ontstaan van rolgeluid voorkomen.

AOT geeft dus ook een goede verklaring voor de grote geluidsreductie die kan worden bereikt met een PERS. Een PERS combineert immers een hoge porositeit met een lage stijfheid of mechanische impedantie. Als daarnaast de textuur van de PERS niet te veel uit de pas loopt is de hoge geluidsreductie een feit.

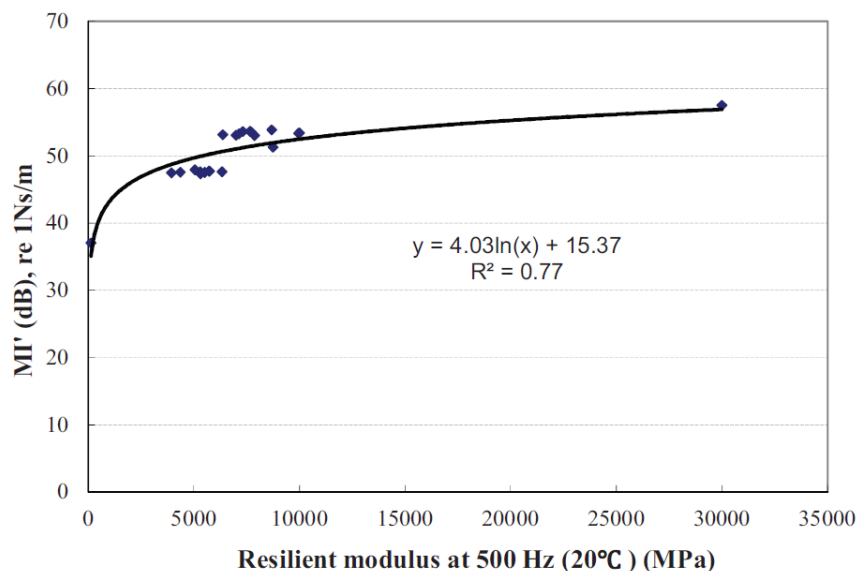
LOT heeft ons een kijkje gegeven in de mechanische processen die zich binnen ZOAB afspelen. LOT heeft duidelijk gemaakt dat fijnere typen ZOAB een kortere levensduur hebben omdat in deze mengsels de belasting van contactbruggen groter is dan in grovere mengsels. Ook is onderbouwd dat de levensduur van ZOAB afneemt met het toenemen van het holle ruimte percentage of het afnemen van de hoeveelheid mastiek (en dus bitumen). Naast deze open deuren heeft LOT ook het ontstaan van rafeling op de snelweg bij koude verklaard. Gebleken is dat de mastiek in ZOAB flexibel moet zijn en blijven om een lange levensduur te garanderen (4, 5).

USD concept

BAM Wegen wil in haar USD de lessen geleerd in 35 jaar onderzoek naar PERS combineren met de lessen die AOT en LOT ons hebben geleerd over bestaande geluidsreducerende deklagen. USD laat zich als volgt beschrijven.

Uitgangspunt van USD is een bestaande dubbellaags ZOAB met een totale dikte van ongeveer 70 mm. De opbouw van dit systeem in termen van gradering en holle ruimte wordt akoestisch ontworpen zodat een uitzonderlijk stil, maar regulier, deklaagsysteem ontstaat. Met gangbare technieken leidt dit tot een deklaag met een geluidsreductie van naar verwachting 7 tot 7,5 dB en een levensduur van 8 jaar. De bovenste laag van dit systeem heeft een dikte van ca. 25 mm en een maximale korrel maat van 4 tot 6 mm.

Om de geluidsreductie van het systeem te vergroten moet de mechanische impedantie van de bovenste laag worden teruggebracht. Uit onderzoek is gebleken dat er een relatie bestaat tussen de civiel technische stijfheid van een materiaal en de mechanische impedantie (6). De relatie wordt gegeven in Figuur 2.



Figuur 2. Relatie tussen mechanische impedantie en stijfheid gemeten in de dynamische indirectie trek proef (6).

In gangbare PERS-systemen wordt de mechanische impedantie verlaagd door de steenfractie geheel of gedeeltelijk te vervangen door veel zachter materiaal, bijvoorbeeld crumb rubber. Vanuit akoestisch oogpunt werkt dit goed. Internationale ervaringen geven echter aan dat dergelijke mengsels zelfs na 35 jaar onderzoek onvoldoende duurzaam zijn (2). Met LOT berekeningen is bovendien aangetoond dat mengsels waarin een deel van de steenfractie door zachter materiaal wordt vervangen een ingebouwd faalmechanisme hebben. In dergelijke mengsels ontstaan spanningspaden waarin de belasting op het materiaal veel hoger oploopt dan in gangbare mengsels. Deze paden ontstaan doordat de stijfheid in deze mengsels niet homogeen verdeelt is. De spanningspaden lopen door de meest stijve gebieden, de zachte gebieden met veel rubber blijven haast spanningsloos.

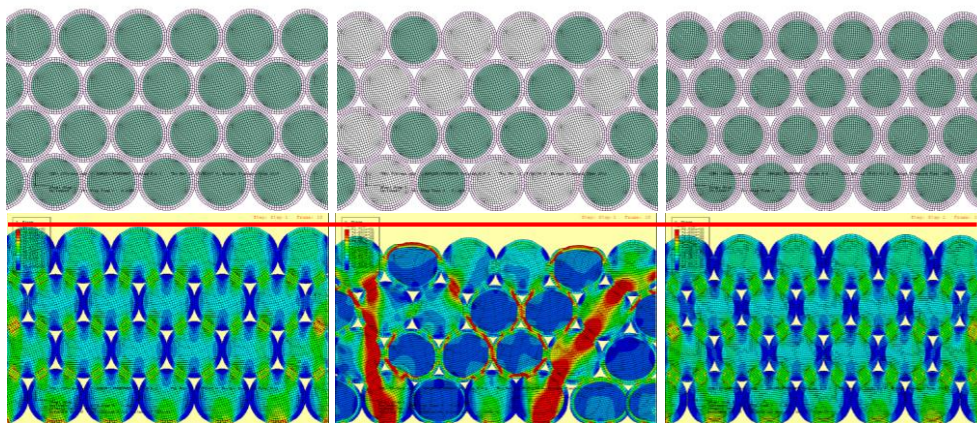
In USD wordt de mechanische impedantie van de deklaag verlaagd door de verbinding tussen steentjes onderling veel soepeler te maken. Uitgangspunt hierbij is een simpel model dat in Figuur 3 is weergegeven. In dit model worden de steentjes uit de opendeklaag onderling

verbonden door veren met een stijfheid “k”. Als deze veren slapper worden zullen de steentjes onderling gemakkelijker bewegen en neemt de stijfheid van het mengsel en de mechanische impedantie dus af. De stijfheid van de veren wordt verlaagd als de lengte “L” van de veren toeneemt, maar ook door de normaalstijfheid “S” van de veren te verlagen. In USD wordt op beide grootheden ingezet. Er wordt dus een zachtere mastiek toegepast (verlagen van S) en bovendien wordt gezorgd voor controle over de afstand tussen individuele steentjes (vergroting van L).



Figuur 3. Een simpel model ziet ZOAB als steentjes die met veren onderling verbonden zijn. De mechanische impedantie wordt verminderd als de veerstijfheid “k” kan worden teruggebracht.

Berekeningen hebben aangegeven dat op deze manier een mengsel kan ontstaan dat een lage mechanische impedantie combineert met een homogene verdeling van stijfheid en daarmee spanningen door het materiaal. Dit wijst op een mengsel met een levensuur die overeenkomt met die van bestaande tweelaags ZOAB gecombineerd met een verhoogde geluidsreductie. De berekeningen worden samengevat in Figuur 4.



Figuur 4. Links: normale ZOAB 6 mm, midden: PERS 6 mm met 50% rubber, USD 6 mm. In de onderste helft van de figuur worden spanningen, onder verticale belasting, aangegeven met kleur, vervormingen zijn sterk overdreven. De horizontale lijn in de onderste helft van de figuur dient als referentie en toont dat de USD bijna net zoveel vervormd als de PERS met 50% rubber.

USD mengsel

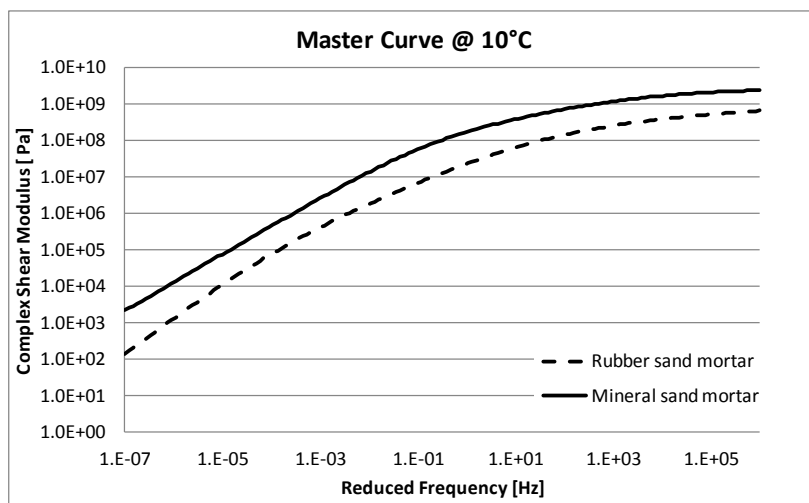
Een USD mengsel wijkt, in essentie, alleen in de mastiek af van gangbare open deklagen. Om de mastiek zachter te maken (verlagen van S) wordt de zandfractie vervangen door zachter materiaal met een hoge weerstand tegen permanente vervorming. Hierbij kan worden gedacht

aan rubber deeltjes, maar ook aan vaste deeltjes bestaande uit andere (kunst) stoffen die aanmerkelijk zachter zijn dan mineraal.

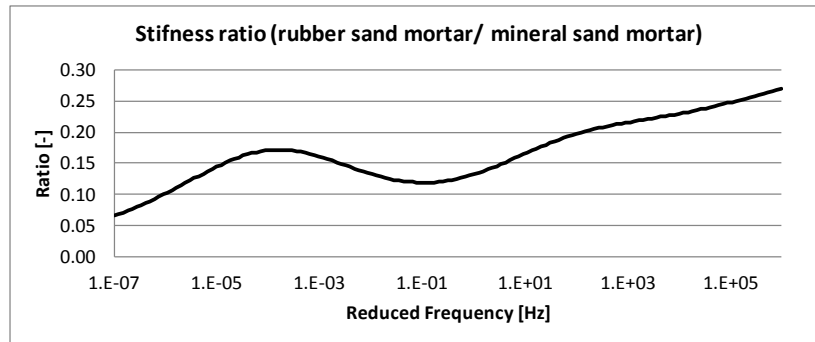
Het is de bedoeling dat deze zachte deeltjes vervormen wanneer een wals de deklaag verdicht. Nadat de wals is gepasseerd nemen de deeltjes hun oorspronkelijke vorm weer aan en duwen zo de steentjes in de deklaag een klein beetje van elkaar. Hierdoor neemt de lengte van de mastiekbruggen in het mengsel iets toe (vergroting van L) waardoor extra flexibiliteit wordt toegevoegd.

Omdat de afstand tussen de steentjes in het verwerkte product iets groter is dan bij gangbare mengsels kan het USD mengsel iets meer mastiek en dus bitumen bevatten. Dit verhoogd naar verwachting de duurzaamheid van het USD mengsel.

Figuur 5 toont twee mastercurves van een ZOAB mastiek (stof+zand+bitumen). Beide mastieken kenmerken zich door gebruik van dezelfde Pen 70/100 bitumen en dezelfde Wigras 40K vulstof. In de ene mastiek bestaat de zandfractie uit mineraal zand, terwijl de andere mastiek een rubber zandfractie heeft. Figuur 5 toont dat de mastiek met rubberzand aanmerkelijk zachter is dan de mastiek met mineraalzand. In Figuur 6 is de verhouding in stijfheid uitgezet. Figuur 6 geeft aan dat de mastiek met rubberzand in het frequentiegebied van 500 tot 5000 Hz een stijfheid heeft van ongeveer 22% van de stijfheid van mastiek met mineraalzand. Hiermee ligt vast dat verlaging van S door vervanging van mineraalzand door rubberzand mogelijk is.



Figuur 5. Mastercurve van een ZOAB mastiek met mineraalzand en een ZOAB mastiek met rubberzand.



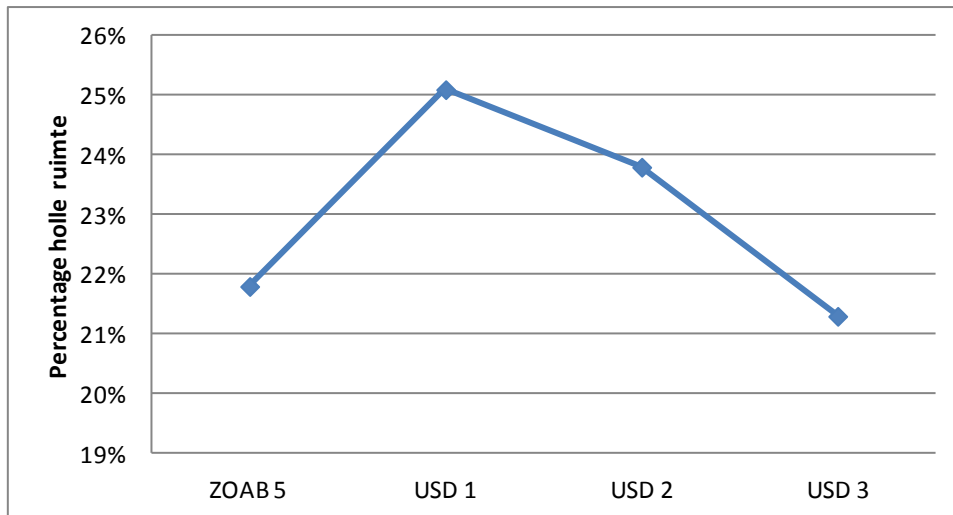
Figuur 6. Verhouding tussen de stijfheid van mastiek met rubberzand en mastiek met mineraalzand.

Met het voorgaande is bewezen dat mastiek aanmerkelijk zachter kan worden gemaakt door mineraal zand te vervangen door elastisch zand. Verlaging van S , zie Figuur 3, is dus goed mogelijk en aangetoond. Om de USD te laten werken moeten de elastische deeltjes hun werk als bumpertjes doen en er voor zorgen dat de steentjes in de USD uit elkaar worden gedrukt. Om ook dit te bewijzen is een ZOAB 5 gemaakt conform een conventioneel recept. Daarnaast is een gelijk mengsel gemaakt waarin het minerale zand in de mastiek is vervangen door rubberzand. Omdat wordt verwacht dat de elastische deeltjes als bumpertjes de steentjes uit elkaar drukken zal het mengsel met rubberzand naar verwachting meer holle ruimte bevatten. Hierdoor kan de USD meer mastiek bevatten dan een standaard ZOAB 5 zonder dat het holle ruimte percentage wordt aangetast. Om dit te bevestigen zijn ook mengsels met 110% en 120% mastiek met rubberzand gemaakt. Samengevat zijn de volgende mengsels gemaakt. Alle mengsels zijn met de gyrator verdicht met 130 omwentelingen en dit geeft voor alle mengsels een verdichtingsgraad van ongeveer 100%.

Tabel 1. Samenvatting van in het laboratorium bereide USD mengsels.

	ZOAB 5	USD 1	USD 2	USD 3
Type zand	Mineraal	Rubber	Rubber	Rubber
Steen (V/V)	73.6%	73.6%	71.7%	70.0%
Mastiek (V/V)	26.4%	26.4%	28.3%	30.0%
HR	21.8%	25.1%	23.8%	21.3%

Tabel 1 bevestigt direct dat de bumpertjes in de mastiek doen wat ze zouden moeten doen: de steentjes worden uit elkaar gedrukt. Figuur 7 geeft hiervan een indruk. Er ontstaat dus een flexibel nieuw type ZOAB.



Figuur 7. Percentage holle ruimte in de verschillende mengsels.

Met het voorgaande is bewezen dat het concept achter USD werkt. Door zacht, maar vormvast materiaal in de mastiek in te brengen ontstaan bumpertjes. De bumpertjes zorgen ervoor dat de steentjes uit de minerale steenfractie uit elkaar worden gedrukt. Hierdoor neemt de lengte “L” van mastiekbruggen toe. Doordat de zachte bumpertjes veel harder zand in de mastiek vervangen wordt bovendien de stijfheid van de mastiek verlaagd. Hierdoor neemt “S” af. Zoals beschreven in Figuur 3 en toegelicht in Figuur 4 is dit precies wat nodig is om USD mogelijk te maken.

De ontwikkeling van USD gaat verder. Op korte termijn worden zowel mechanische als akoestische proeven uitgevoerd om het mengsel nog beter te begrijpen. Daarna wordt het mengsel mechanisch en akoestisch geoptimaliseerd op basis van de kennis die deze proeven opleveren.

USD voordelen

Bij de productie van USD wordt net als bij bestaande tweelaags ZOAB deklagen gebruik gemaakt van polymeer gemodificeerde bitumen. USD bestaat nog niet en afgewacht moet worden of het mengsel ook produceerbaar is. Er van uitgaande dat USD met bestaande productie en verwerkingsmethoden geproduceerd en aangebracht kan worden, ontstaan de volgende voordelen:

- Stroefheid
Een nadeel van PERS-en is de beperkte stroefheid bij nat wegdek. USD zal naar verwachting een stroefheid hebben die gelijk is aan de stroefheid van bestaande tweelaags ZOAB. Dit omdat de steenslag in USD gelijk is aan de steenslag in bestaande mengsels.
- Hechtsterkte
De hechtsterkte waarmee bestaande PERS-en met de onderlaag zijn verbonden is onvoldoende. Dit komt omdat bestaande PERS-en vaak prefab systemen zijn waarin geen bitumen is gebruikt. De deklaag wordt hierbij koud op een bestaande onderlaag geplakt. USD wordt warm op de onderlaag aangebracht en is bovendien

bitumengebonden. In dit opzicht wijkt USD dus niet af van bestaande tweelaags ZOAB waardoor problemen rond beperkte hechting niet worden verwacht.

- **Duurzaamheid**

De duurzaamheid van bestaande PERS-en is beperkt. De oorzaak hiervan is niet eenduidig vast te leggen, er zijn meerdere verklaringen denkbaar, waaronder: 1) ontstaan van spanningspaden (Figuur 4), zeer grote bewegingen in het mengsel door gebruik van rubber granulaat met als gevolg hoge rekken en de opbouw waterdruk tijdens regen. Duidelijk is wel dat PERS-en ver buiten het ervaringsgebied van de wegenbouw liggen en dat dit risico's geeft. USD ligt veel dichterbij het ervaringsgebied van de wegenbouw waardoor de risico's op onderperformance klein blijven. Bovendien is de mastiek in USD extra flexibel en is de hoeveelheid mastiek groter dan in bestaande mengsels. Gangbare inzichten geven aan dat dit de levensduur van de opendeklaag zal verlengen.

Ontwikkeling van USD

Het uitgangspunt van USD is een bestaande tweelaags ZOAB die is ontworpen met veel aandacht voor akoestische performance, naar verwachting geeft dit een deklaag met 7 tot 7,5 dB geluidsreductie. Om de geluidsreductie van dit deklaagsysteem te verhogen en te verschuiven in de richting van 10 dB wordt de mechanisch impedantie van het mengsel verlaagd. Hiertoe wordt een mastiek toegepast waarin de mineraal fractie geheel of gedeeltelijk is vervangen door zachte, maar vormvaste deeltjes (bijvoorbeeld crumb rubber). Deze deeltjes werken als bumpertjes en drukken de steentjes in de minerale steenfractie los van elkaar. Hierdoor hebben individuele steentjes een grotere vrijheid van bewegen waardoor trillingen in de band worden gereduceerd. Zoals besproken is bewezen dat het concept achter USD werkt.

De eerste stap in de verdere ontwikkeling van USD is bewijzen dat een USD-mengsel ook als mengsel aanmerkelijk zachter is dan bestaande typen ZOAB. Hiertoe worden dynamische ITT (Indirect Tensile Test) proeven gedaan op laboratorium vervaardigde proefstukken. Gemeten stijfheden worden in Figuur 2 geplot en geven een eerste indruk van de mechanische impedantie. Als deze proeven succesvol zijn dan wordt verder onderzoek opgedeeld in twee deelstromen.

De eerste deelstroom omvat een verdere akoestische optimalisatie. Dit traject omvat de bepaling van de mengselporositeit, geluidsabsorptie proeven in een impedantiebus, Optimalisatie van laagdikten en gradering met behulp van AOT.

De tweede deelstroom omvat de optimalisering van de civiel technische levensduur. In dit traject wordt gebruik gemaakt van LOT. Met DSR proeven wordt de mastiek en de hechting tussen mastiek en steen geoptimaliseerd.

Genoemde onderzoekslijnen komen tenslotte samen in een traject van onderzoek aan het verkregen mengsel. Hierbij kan worden gedacht aan dynamische ITT proeven, aanleg van kleine proefvakken op eigen terrein of als tijdelijke verharding, verrichten van geluidsmetingen, ARTe proeven, textuur scans, absorptie tests en AOT berekeningen.

Het USD mengsel zal uiteindelijk gemaakt worden met toepassing van rubber deeltjes in de mastiek. Deze deeltje mogen niet in de bitumen oplossen en daarom zal productie van USD

bij een temperatuur van niet meer dan 145°C plaatsvinden. Toepassing van een polymeer gemodificeerde bitumen wordt noodzakelijk geacht om de levensduur van het USD mengsel zo groot als mogelijk te houden en ook om stabiliteit aan het mengsel te geven. Om de productie van een mengsel met polymeer gemodificeerde bitumen bij een temperatuur van niet meer dan 145°C mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van de LEAB techniek. LEAB staat voor Lage Temperatuur Asphalt Beton. De LEAB techniek is ontwikkeld door BAM wegen en maakt het mogelijk om mengsels te produceren bij temperaturen tot ca. 100°C. LEAB mengsels hebben dezelfde samenstelling en eigenschappen als equivalente heet geproduceerde mengsels.

Bij de productie van de proefstukken in Tabel 1 is de geschetste productiewijze op laboratoriumschaal aangehouden. De proefstukken zijn dus gemaakt bij een temperatuur van 145°C waarbij de gemodificeerde bitumen verschuimd is toegevoegd.

Om ervaring op te doen met de productie en verwerkingsmethoden worden in asfaltseizoen 2014 proefvakken aangelegd. Het aanleggen van proefvakken verloopt parallel met het beschreven onderzoek. Op de proefvakken worden akoestische metingen verricht, natuurlijk geven de proefvakken ook een eerste indruk van de duurzaamheid van USD. De akoestische metingen maken het mogelijk om de theorie achter USD te valideren en geven extra input voor de omschreven onderzoekslijn.

De eerste proefvakken worden bij een asfalt-installaties aangebracht. Met de lessen die hieruit geleerd worden, worden daarna proefvakken op tijdelijke verhardingen aangelegd en gemonitord. Tenslotte word USD, nog in het seizoen 2014, aangebracht op een provinciale weg.

Patent

USD is door patenten beschermd.

LITERATUUR

1. J. Kragh, E. Olesen, H. Bendtsen, E. Nielsen, K. Handberg, U. Sandberg, Super Quiet Traffic, International serach for pavement providing 10 dB noise reduction, DRI report 178-2009, 2009.
2. U. Sandberg, L. Goubert, Poroelastic Road Surface (PERS): A review of 30 years of R&D work, Inter-noise, Osaka, Japan, 2011.
3. Bijlage 3 bij offerteaanvraag zaaknummer 31085985, Ultrastil Wegdek, Ontwikkeling 10+dB wegdek, Rijkswaterstaat, 1 oktober 2013.
4. ZOAB Winterschade
5. Zoab Winterschade
6. Li,M.,(2013), "Tyre-Road Noise, Surface Characteristics and Material Properties", PhD thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.