

Rubber-gemodificeerd asfalt, een nieuw concept

Henny ter Huerne¹

Twente University, TRC, Construction Management & Engineering

Wilma Dierkes, Anke Blume & Jacques Noordermeer

Twente University, TRC, Elastomer Technology & Engineering

Samenvatting

Rubber-gemodificeerd asfalt door toepassen van synthetische thermoplastische rubber (SBS) in bitumen is reeds jaren in gebruik. Voordelen van deze modificatie zijn meer elastisch gedrag in plaats van vloeistof gedrag bij hoge temperatuur en elastischer, minder bros gedrag bij lage temperatuur. Daar staan echter hogere kosten en nog niet bewezen hergebruik mogelijkheden van asfaltgranulaat tegenover.

Naast de behoefte aan verbeterde, eigenschappen van het asfalt spelen ook wensen naar verminderde geluidsproductie van wegen een rol. Ook hier komt rubber-gemodificeerde asfalt als optie naar voren. Dit resulteert inderdaad in lagere verkeersgeluid emissies en hergebruik van versleten autobanden. Oude autobanden is een reëel probleem: Er worden jaarlijks wereldwijd 800 miljoen banden afgedankt waar tot op heden nauwelijks (her)bestemming voor bestaat.

Door twee Tire Road Consortium leerstoelen binnen de Universiteit Twente wordt onderzoek gepleegd naar een asfalt, waarin door de-vulkaniseren van personenwagen-banden aangemaakte “vloeibare/plastische” rubber in bitumen is ingemengd. Dit de-vulkaniseren van synthetische autobanden rubber is “state of the art” technology. Dit proces brengt de synthetische rubber daadwerkelijk weer in een (semi)vloeibare fase. Let wel: het inmengen van de-vulkanisaat in bitumen is een volledig andere oplossing dan het inmengen van rubber granulaat in asfalt.

De paper beschrijft het inmengen van “vloeibare” rubber in traditionele bitumen waarbij diverse methoden en hoeveelheden van in-mengen zijn getest en de eigenschappen van de gemodificeerde bitumina zijn bepaald.

Uit metingen blijkt dat de bitumeneigenschappen verbeteren en dus het rubber zijn werk doet, maar uiteraard is meer test en ontwikkelwerk nodig. Met de gemodificeerde bitumen zijn asfalt proefstukken vervaardigd en ITS waarden bepaald bij 0 en 15°C. Ook deze bevestigden de positieve invloed van de rubbermodificatie.

Steekwoorden

De-vulkanisatie rubber, gemodificeerde bitumen, synthetische rubber, black diagram, dynamische viscositeit, ITS.

1. Inleiding

Rubber-gemodificeerd asfalt door toepassen van vooraf ingemengde volledig opgeloste synthetische thermoplastische rubber (SBS) in bitumen, is al langere tijd gebruikelijk. Deze bitumen modificatie verbetert de elasticiteit van het asfalt bij hoge temperaturen en de stijfheid bij lagere temperaturen [1]. Typische inmeng percentages liggen tussen 2.0 – 5.0 gew.%, maar in bepaalde gevallen gaat met ook hoger tot bijvoorbeeld 8 of 9 gew. %. Voordelen t.o.v. ongemodificeerd asfalt zijn meer elastisch gedrag in plaats van vloeistof gedrag bij hoge temperatuur en elastischer, minder bros gedrag bij lage temperatuur. Daar staan hogere kosten tegenover.

Naast de behoefte aan verbeterde, verhoogde elastische eigenschappen van het asfalt spelen recentelijk ook wensen t.a.v. verminderde geluidsproductie van wegen een belangrijke rol. Op basis van ervaringen vooral in het buitenland, komt rubber-gemodificeerde asfalt hier ook als optie steeds meer in de belangstelling. In dit geval echter niet zozeer als volledig opgeloste rubber, maar in de vorm van fijnkorrelig in de asfalt-molen ingemengd voornamelijk vrachtwagen-banden granulaat tot gehalten van zo'n 5 a 6 gew.%. Voordeel daarvan is inderdaad verminderd lawaai en een welkome bijdrage aan hergebruik/duurzaamheid van versleten autobanden. Er worden jaarlijks wereldwijd 800 miljoen banden afgedankt: waar moeten we met al die banden naar toe? Nadelen van “*rubbergranulaat*” in asfalt zijn verlaagde duurzaamheid van het asfalt, snellere slijtage en problemen met de hechting van de toplaag op de onderbouw. Onderhavig onderzoek stelt voor te werken met “*rubber de-vulkanisaat*”, een fundamenteel verschil, waardoor juist duurzaamheid, slijtage en hechting kunnen worden verbeterd!



Figuur 1. De jaarlijkse berg van afgedankte banden (ca 800.000.000 stuks per jr wereldwijd).

Binnen de Universiteit Twente is het Tyre Road Consortium (TRC) actief een samenwerking tussen diverse leerstoelen. Dit TRC focust zich op onderzoek op band gebied, op weg gebied en op onderzoek op gebied van de interactie tussen band en weg. Een tweetal vakgroepen binnen dit TRC, te weten Bouw/Infra (B/I) en Elastomer Technology & Engineering (ETE), ontwikkelden recentelijk het nieuwe concept van asfalt aangemaakt met bitumen, waarin door de-vulkaniseren van personenwagen-banden aangemaakte “vloeibare/plastische” rubber is opgelost, tot naar wens hogere gehalten dan gebruikelijk met synthetische SBS. Hierbij wordt een optimaal compromis nagestreefd in:

- Lagere kosten dan bij SBS-modificatie;
- Hogere rubbergehalten, dus significante geluidsreductie;
- Minder stank (rubber houdt tot op zekere hoogte natuurlijk wel z'n typische geur);
- Asfalt/bitumen eigenschappen vergelijkbaar of zelfs beter dan bij SBS-modificatie van asfalt;
- Een waardevolle bijdrage aan reductie van een ecologische probleem; afgedankte personenautobanden.

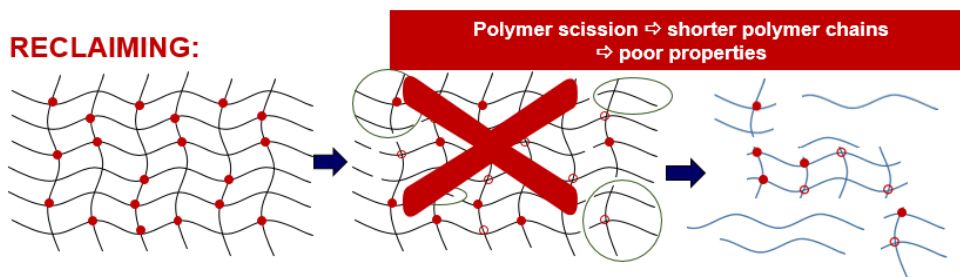
Door eerst het rubber te devulkaniseren oftewel terugbrengen in de vloeibare vorm is een betere menging van de nu vloeibare rubber met bitumen mogelijk. Men voorkomt menging van een vast (rubber) met een vloeistof en daarmee de adhesie problemen zoals beschreven in [2]. Het devulkaniseren van rubber wordt daarmee een belangrijke stap en wordt nader beschreven in de volgende paragraaf.

2. De-vulkaniseren van Rubber

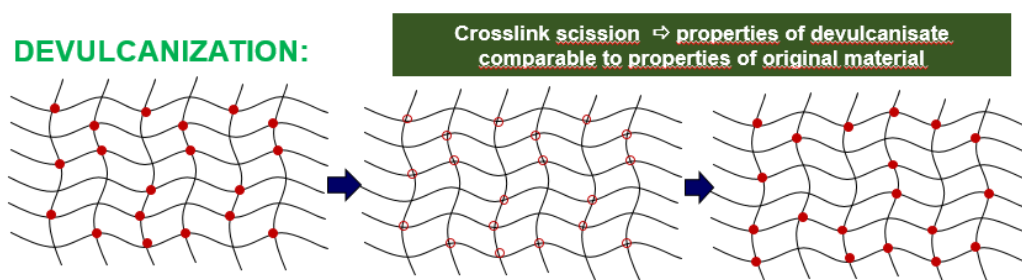
Rubber is van nature een dik vloeibare stof, welke wordt gevulkaniseerd om z'n vaste vorm, maar nog altijd wel hoge rekbaarheid te verkrijgen. Vulkaniseren vindt plaats bij hoge temperatuur, typisch bij 150°C, waarna de rubber niet meer vloeibaar te maken is door verdere temperatuurverhoging (in tegenstelling tot zgn. thermo-plastics en het thermo-plastische rubber SBS, zie boven). Er moet derhalve een bijzondere techniek, het zgn. de-vulkaniseren worden toegepast om toch de dik-vloeibare vorm weer terug te krijgen. De leerstoel ETE van de universiteit Twente heeft deze techniek ontwikkeld en is momenteel in samenwerking met geïnteresseerde partijen in opschalingsontwikkelingen van het de-vulkanisatie proces van personenwagen-banden betrokken.

Belangrijk is om bij de-vulkanisatie onderscheid te maken tussen personenwagen-banden en vrachtwagen-banden. Vrachtwagen-banden zijn primair samengesteld uit zgn. Natuurrubber, daterend uit de oudheid, maar wel met superieure eigenschappen. Personenwagen-banden daarentegen bestaan voor een groot deel uit zgn. synthetische rubber.

Het banden-granulaat waarover hierboven gesproken is, is voornamelijk afkomstig van vrachtwagenbanden en dus op Natuurrubber gebaseerd. Ondanks de superieure eigenschappen van Natuurrubber is het materiaal relatief gemakkelijk af te breken bij hoge temperatuur en zo tot oplossing te brengen in bitumen, echter ten koste van een penetrante geur van verbrand rubber.



Figuur 2. Reclaiming (of afbraak) van Natuurrubber, bijv. koken van rubber in bitumen [3].



Figuur 3. Devulcanisatie en her-vulkanisatie van synthetische rubber [3].

Personenwagen-banden, voornamelijk opgebouwd uit synthetische rubber, zijn veel stabiel en daardoor niet door verhitting tot vloeibaar terug te brengen. Daarvoor is de specifieke “devulcanisatie-techniek” ontwikkeld in Twente vereist. Weliswaar zullen de kosten van zulk gede-vulkaniseerd personenwagen-banden rubber hoger uitvallen dan die van eenvoudig gemalen vrachtwagen-banden Natuurrubber granulaat, maar het product is veel stabiel en daardoor minder aan stank onderhevig.

Het onderzoek naar gede-vulkaniseerde rubber van personenwagenbanden, waarvan de toepassing in asfalt in deze bijdrage ter discussie staat, wordt gefinancierd vanuit de RecyBEM, de stichting die namens de overheid de verwijderingsbijdrage van banden beheert en zorg draagt voor verantwoorde verwijdering van versleten banden. De details van de ontwikkelde technologie, welke op dit moment op pilot-schaal operationeel is, is niet openbaar, omdat deze technologie eigendom is van de RecyBEM. Wel krijgt u een idee vanuit de figuren 2 en 3 waar de principes van “reclaiming” en “de-vulkaniseren” gevisualiseerd worden. Tijdens reclaimen (figuur 2) vindt thermische afbraak van rubber plaats, waardevolle lange koolstof-ketens gaan verloren. Bij reclaimen (figuur 3) worden de verbindingen tussen de koolstof-ketens ongedaan gemaakt waardoor de lange ketens intact blijven.

Nadat de rubber de-vulkaniseren principes op basis van onderzoek waren bepaald (uitsluitend nog op lab en semi lab schaal) is de gede-vulkaniseerde rubber ingemengd in bitumen om te testen of dit zou kunnen leiden tot verbeterde eigenschappen van bitumen en asfalt. Dit gebeurde dus vooralsnog ook op lab schaal.

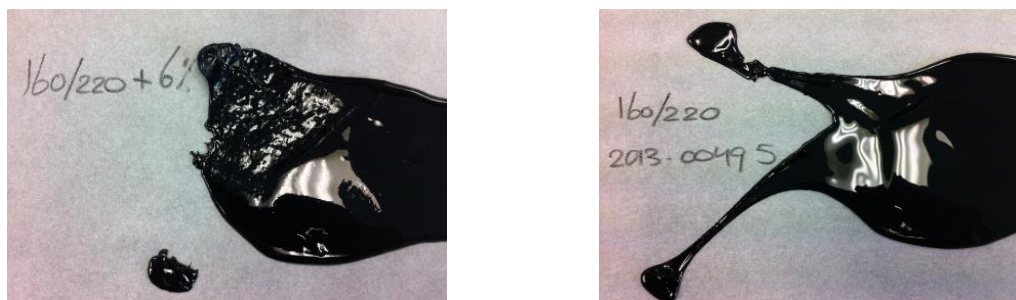
3. Het modificeren van bitumen met personenwagen banden rubber

Het proces van bitumen rubber menging heeft in een drietal stappen plaatsgevonden. Alhoewel gemodificeerde bitumen al op grote schaal wordt toegepast was het innemen van de gede-vulkaniseerd gerecyclede synthetische autobanden rubber toch relatief nieuw voor de bitumen industrie. Daarom is de innem procedure behandeld als pilot (resp. Pilots I, II en III). De rubber is door de UT in het kader van een PhD onderzoek gede-vulkaniseerd (D-GTR-S) en aangeleverd aan Q8 Petroleum, welke de inneming heeft verzorgd. Als basis bitumen is een 160/220 normale (Straight run) bitumen gebruikt. Bij beschouwing van de resultaten dient in de overweging te worden meegenomen dat in de gebruikte rubbers nog ca 20% vulstof in de vorm van Carbon Black of Silica aanwezig is waardoor een 15 gew.% inneming “slechts” 12.0 gew.% pure rubber is en een 6.0 gew.% inneming slechts 4.8 gew.% pure rubber.

De gehanteerde procedure “Pilot I mengen” betrof:

- langzaam toevoegen van ca. 6% D-GTR-S onder “high shear mixing” op 2,500 rpm;
- ca 1 uur high shear mixing op 2,500 rpm;
- overgegaan op 18 uur “propeller mixing” op een temperatuur van 170°C.

De mengsels zijn op verpakkingspapier gestreken om er een optisch beeld bij te verkrijgen (figuur 4a) naast een vergelijkbaar regulier bitumen monster 160/220 (figuur 1b). Dit mengproces heeft plaatsgevonden in het voorjaar van 2013.



Figuur 4(a) links en 4(b) rechts: mengmonster 1 bitumen 160/220 met gede-vulkaniseerd rubber (a) in vergelijking met een regulier monster 160/220 bitumen (b).

3.1 Pilot I

De mengbitumen is getest op een voor reguliere (niet gemodificeerde) bitumen gebruikelijk wijze door het bepalen van de penetratie en het verwekingspunt volgens respectievelijk NEN-EN 1426 en NEN-EN 1427². De gemeten waarden voor Pilot I staan vermeld in tabel 1 evenals de waarde voor een referentie bitumen 160/220. De penetratie is afgenomen en het verwekingspunt toegenomen: de rubber doet z'n werk.

Properties	method	unit	160/220	6% Blend
Penetration	EN 1426	[0.1 mm]	206	171
Softening Point	EN 1427	[°C]	38.6	42.2

Tabel 1: op basis van monster “pilot I”; penetratie waarde en verwekingspunt van het rubber bitumen mengsel² in relatie tot een normale bitumen 160/220.

Het mengen van de beide componenten bleek lastig vanwege het grote viscositeit verschil tussen de bitumen en de gede-vulkaniseerde rubber. Op basis daarvan is besloten eerst een “papje” te maken van gede-vulkaniseerd rubber met slechts een beetje bitumen, de zogenaamde 50/50 en 30/70 “pre-blends” zie beschrijving Pilot II.

3.2 Pilot II

Na de bevindingen van Pilot I zijn op de UT een tweetal “mengmonsters” bitumen/gedevulcaniseerde rubber aangemaakt in de verhoudingen 30/70 en 50/50.

 2. Het mag als een publiek geheim worden verondersteld dat het meten van Pen en R&K onvoldoende houvast geeft een gemodificeerde bitumen op al haar kwaliteiten te beoordelen. Toch is het hier toegepast. Dit is gedaan om snel en met eenvoudige middelen een indruk te krijgen van Penetratie en Verwekingspunt van het gerealiseerde mengsel.

De gehanteerde procedure “Pilot II mengen” betrof:

- langzaam toevoegen van ca 15% D-GTR-S onder “high shear mixing” op 2,500 rpm op een temperatuur van 170 C;
- ca 1 uur high shear mixing op 2,500 rpm;
- overgegaan op 18 uur “propeller mixing” op een temperatuur van 170°C (voor 18353-1) en op een temperatuur van 200°C (voor 18353-2).

Properties	method	unit	2010-12503	2013-11584	2013-18353-1	2013-18353-2
Penetration	NEN-EN 1426	[0.1 mm]	206	171	168	165
Softening Point	NEN-EN 1427	[°C]	38,6	42,2	44,0	43,2

Tabel 2: op basis van monster “pilot II”; penetratie waarde en verwekingspunt van het rubber bitumen mengsel² in relatie tot een normale bitumen 160/220 (2010-12503).

Bij 15% inmenging was het effect van de gede-vulkaniseerd rubber zoals verwacht wat sterker dan bij inmenging van 6% echter bij meting van verwekingspunt en penetratie liet slecht een beperkt verschil zien.

3.3 Pilot III

Op een later moment is nogmaals dezelfde procedure gevolgd: Pilot III. De gehanteerde procedure “Pilot III mengen” was identiek aan de hierboven beschreven methode “Pilot II”, voornamelijk om de reproduceerbaarheid van de procedure te testen.

Properties	method	unit	2010-12503	2013-11584	2013-18353-1	2013-18353-2	2014-09025
Penetration	NEN-EN 1426	[0.1 mm]	206	171	168,0	165	172
Softening Point	NEN-EN 1427	[°C]	38,6	42,2	44,0	43,2	42,6

Tabel 3: op basis van monster “pilot III”; penetratie waarde en verwekingspunt van de rubber bitumen mengsels² uit de “pilots II en III” in relatie tot een normale bitumen 160/220 (2010-12503).

Wederom werden verwekingspunt en penetratie bepaald en vergeleken met standaard bitumen, de waarden uit de Pilots I en II. De resultaten bleken wederom ongeveer vergelijkbaar.

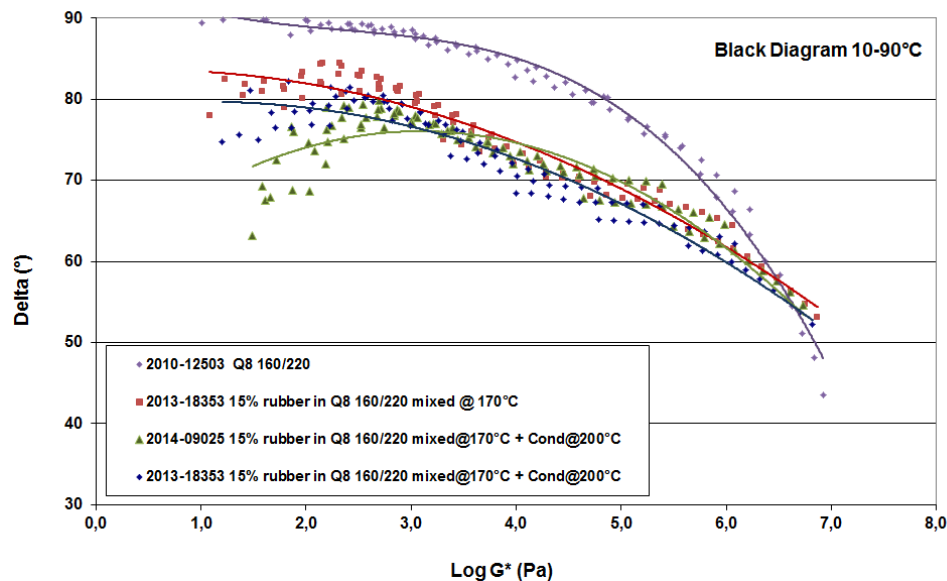
4. Bepalen eigenschappen gemodificeerde bitumen's

In een vervolg stap werden de eigenschappen van het gecreëerde bitumen-rubber mengsel gekarakteriseerd door het uitvoeren van DSR test op een sample bij verschillende temperaturen. Aldus is op het mengsel bepaald:

- Viscositeit (Pa.s)
- Average recovery at 0.1 kPa [%]
- Fasehoek Delta [°]
- G^* [Pa] (de dynamische modulus)

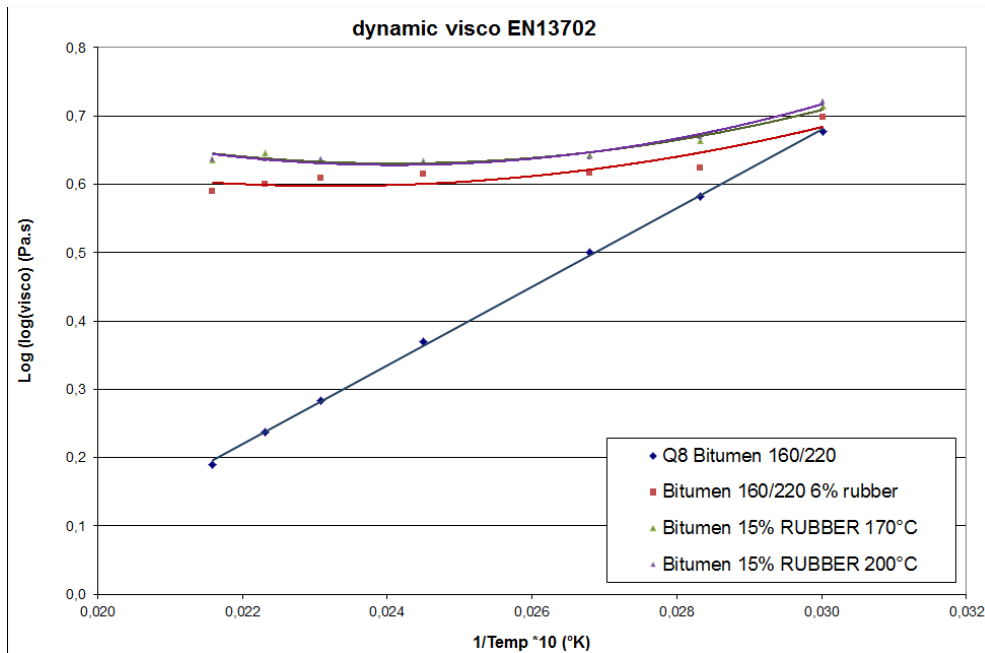
Met deze grootheden is het “Black Diagram” (fig. 5a) bepaald evenals dat de viscositeit is geschetst (fig. 5b) en de gemiddelde recovery is uitgezet tegen de temperatuur (fig. 5c) voor het gerealiseerde bitumen-rubber mengsel

Fasehoek Delta 90° duidt op zuiver vloeistof gedrag: de bitumen bij lage modulus (lees hoge temperatuur). De gemodificeerde bitumen vertoont een lagere fasehoek Delta, ofwel meer elastisch gedrag bij hoge temperatuur (figuur 5a) in vergelijking met een on-gemodificeerde bitumen 160/220 (2010-12503).



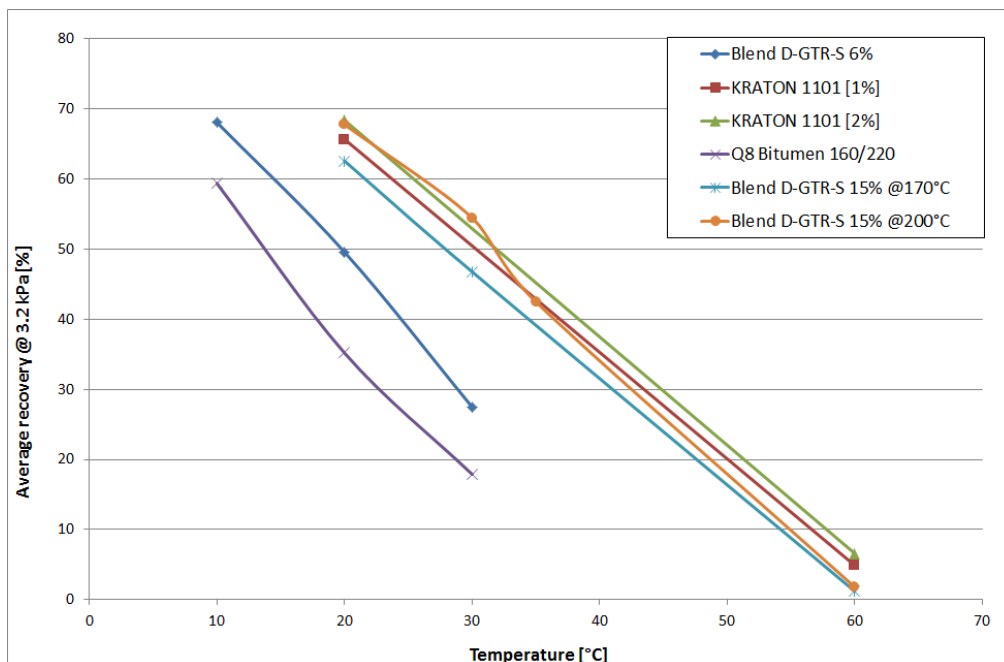
Figuur 5a: black diagram voor temperaturen van 10 tot 90°C, standaard Q8 bitumen 160/220 als referentie, een SBS mengsel (40/60 + SBS 1101 2%), een mengsel met 6% gede-vulkaniseerde rubber en twee mengsels met 15% gede-vulkaniseerde rubber gemengd bij respectievelijk 170°C en 200°C.

Beschouwing van de dynamisch viscositeit, figuur 5b. 6% (4.8% puur rubber) inmenging van gede-vulkaniseerde rubber is globaal vergelijkbaar met 2% SBS-inmenging; 15% (12% puur rubber) is uiteraard een nog beter resultaat voor wat betreft de dynamische viscositeit.



Figuur 5b: gemeten dynamische viscositeit voor temperaturen van 10 tot 90°C, standaard Q8 bitumen 160/220 als referentie, een mengsel met 6% gede-vulkaniseerde rubber en twee mengsels met 15% gede-vulkaniseerde rubber gemengd bij respectievelijk 170°C en 200°C.

Bij beschouwing van de gemiddelde recovery (figuur 5c) zien we een verschuiving van de waarneming naar meer recovery bij vergelijkbare temperatuur zodra meer rubber wordt ingemengd (6% tov. van ongemodificeerde bitumen 160/220 en 15% tov. 6%). De waarnemingen voor de bitumen's met 15% (ca 12% puur rubber) zijn vergelijkbaar met Kraton 1 en 2%.



Figuur 5c: gemiddelde recovery waarden voor temperaturen van 10 tot 90°C, standaard Q8 bitumen 160/220 als referentie, twee SBS mengsels (40/60 + resp 1% en 2% SBS 1101), een mengsel met 6% gede-vulkaniseerde rubber en twee mengsels met 15% gede-vulkaniseerde rubber gemengd bij respectievelijk 170°C en 200°C.

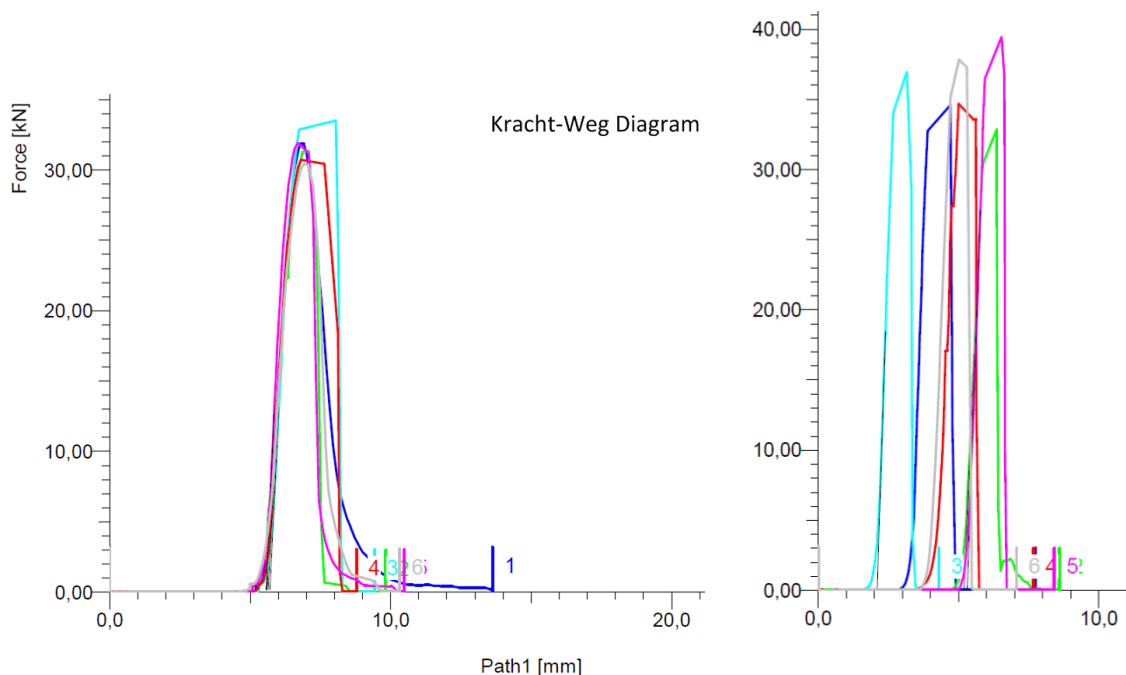
Ook deze figuren bevestigen de elastische werking van de gede-vulkaniseerde rubber in vergelijking met SBS.

Voor meer informatie over inmenging van de-vulkanisaat in bitumen voor gebruik in asfalt wordt verwezen naar P.V. Shivaprasad et al. [4].

5. Testen op Asfalt laboratorium samples.

Om een indruk te verkrijgen van de prestaties van asfalt mengsels met het met gede-vulkaniseerde rubber gemodificeerde bindmiddel zijn indirecte treksterkte (ITS) testen op asfalt proefstukken met de gede-vulkaniseerde rubber uitgevoerd. Daarbij werd zowel de (indirecte) treksterkte bepaald (absolute hoogte van de piek) als de breuktaaiheid (oppervlak onder de curve, hetgeen een maat is voor plastisch of bros gedrag). Dit werd gedaan relatief kort na vervaardiging van de proefstukken maar ook op retained proefstukken; proefstukken die 72 uur in een waterbad van 40°C kunstmatig zijn ‘verouderd’. De verhouding tussen de absolute waarde van de indirecte trekkracht voor en na retainen wordt de watergevoeligheid genoemd (Indirect Tensile Strength Ratio) en uitgedrukt in de ITSr-waarde. De watergevoeligheid wordt, conform Europese Norm en dus voor CE-markering, bij 15°C uitgevoerd. Om een indicatie te krijgen over het lage temperatuurgedrag werd de proef tevens uitgevoerd bij 0°C (uitsluitend direct).

De gemeten test resultaten:

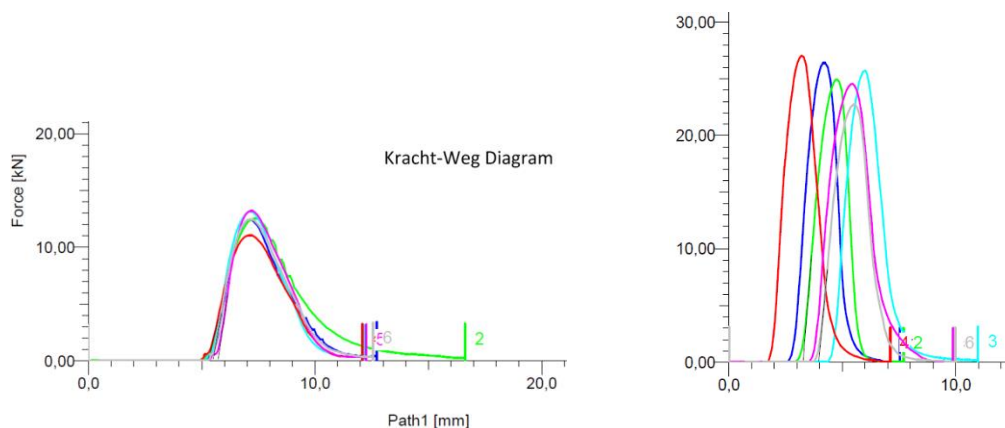


Figuur 6: Het kracht-weg diagram van de indirecte trekproef op AC16 met gede-vulkaniseerde rubber (GTR-15%) bitumen mengsel (links) en referentie AC16 StAB 40/60 (rechts), direct uitgevoerd bij 0°C.

Het mengsel met gede-vulkaniseerd rubber laat bij 0°C bij vier proefstukken een vloeiend verloop zien en bij twee proefstukken iets minder (figuur 6, links). Dit duidt op een positieve verandering van de eigenschappen namelijk overwegend (4 van de 6) elastisch gedrag bij lage temperaturen (0°C). De gemeten piekkracht, welke de absolute treksterkte weerspiegelt, en de breuktaaiheid zijn vergelijkbaar met andere PMB gemodificeerde asfalt mengsels (hier niet weergegeven). De piekkracht is lager dan het on-gemodificeerde mengsel (figuur 6, rechts) maar de breuk-taaiheid duidelijk beter.

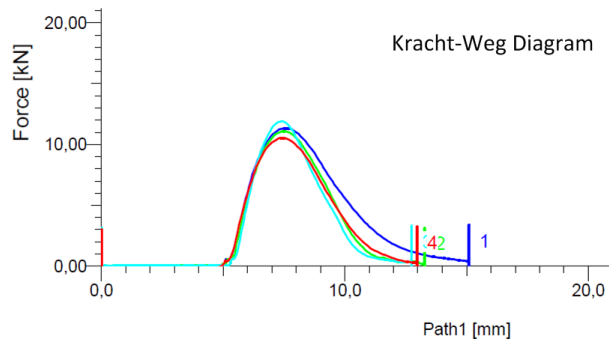
De vergelijking van het gemodificeerde asfaltmengsel met standaard AC16 StAB 40/60 is puur indicatief maar geeft toch enig inzicht. Van deze AC16 StAB 40/60 is de gemiddelde splijtkracht 36,0 kN, de minimale 32,8kN en de maximale 39,4kN allen bij 0° C direct. Deze waarden liggen dus licht hoger (10 – 15%) in vergelijking met het gemodificeerde mengsel. Dit correspondeert met de eigenschappen direct gemeten aan de gemodificeerde bitumen bij diverse temperaturen, het gedrag wordt minder temperatuur afhankelijk.

Bij 15°C is de treksterkte (figuur 7) duidelijk lager dan het standaard asfalt, de breuktaaiheid is iets lager maar wel ongeveer vergelijkbaar (het kracht-weg diagram toont een lagere maar wel bredere curve, figuur 7 links tov rechts).



Figuur 7: Het kracht-weg diagram van de indirecte trekproef op AC16 met gede-vulkaniseerde rubber (GTR-15%) bitumen mengsel (links) en referentie AC16 StAB 40/60 (rechts), direct uitgevoerd bij 15°C.

De 15°C treksterkte retained (verouderd) is licht lager dan de 15°C treksterkte direct (vergelijk figuur 7 met figuur 8). Ook de retained waarden laten een mooi vloeiend verloop zien en een brede curve. De ITSr waarde is bepaald op hoger dan 90% hetgeen een erg goede waarde is.



Figuur 8: Het kracht weg diagram van de indirecte trekproef op AC16 met gede-vulkaniseerde rubber (GTR-15%) bitumen mengsel, uitgevoerd bij 15°C na 72 uren veroudering in water.

6. Samenvattend & Conclusies

Met gebruik van gede-vulkaniseerde rubber zijn preblend gemodificeerde bitumen's vervaardigd waarmee vervolgens asfaltproefstukken zijn vervaardigd en getest. Een aantal eerste korte bevindingen betreffende het inmengen van devulkanisaat in bitumen, testen op de gemodificeerde bitumen's en op hiermee vervaardigde asfalt proefstukken zijn:

- Diverse wijzen van inmenging van devulkanisaat in bitumen is beproefd. Het inmengen van tot 15% devulkanisaat (komt overeen met ca 12% puur rubber) blijkt goed mogelijk. Inmenging vindt plaats bij temperaturen van 170°C;
- Op basis van het met devulkanisaat gemodificeerde bitumen zijn dynamische viscositeit waarden, gemiddelde recovery waarden bepaald en is een "black diagram" opgesteld. Metingen zijn gedaan bij verschillende bitumen temperaturen tussen 10 en 90°C. De gemodificeerde bitumen presteert duidelijk beter dan on-gemodificeerde bitumen en toont duidelijk meer elasticiteit;
- Op basis van de indirecte testen op asfalt met de gemodificeerde bitumen is vastgesteld dat de absolute piekkrachten iets lager liggen dan bij on-gemodificeerd maar dat met name de breuktaaiheid van het mengsel toeneemt. Ook dit duidt op invloed van het rubber (meer elasticiteit) en is vergelijkbaar met het gedrag van andere PMB gemodificeerde asfalt mengsels;
- De watergevoeligheid (ITSR) van asfalt met de met rubber gemodificeerd is vastgesteld op 90%, dat is een waarde die ruimschoots voldoet aan de eisen;
- Gerecyclede en gede-vulkaniseerde rubber draagt positief bij aan de eigenschappen van bitumen en asfalt en kan werken als een polymeer- modificatie. De positieve eigenschappen laten zich zien op basis van de uitgevoerde laboratoriumexperimenten.

Alle resultaten zijn vergeleken met een standaard asfalt AC16. Nader onderzoek dient te worden uitgevoerd om te bezien hoe eigenschappen verder kunnen worden verbeterd. Het onderzoek tot nog toe uitgevoerd is nog slechts een start en resultaten dienen als preliminair te worden beschouwd.

Met dank aan:

Met betrekking tot het mengen van de gede-vulkaniseerde rubber in bitumen en de proefnemingen hierop zijn wij veel dank verschuldigd aan Q8, of meer persoonlijk: Jeroen

Besamusca. Met betrekking tot het maken van asfalt laboratorium samples en Dura Vermeer: wederom meer persoonlijk: Robbert Naus. Met beide partijen en heren is prettig samengewerkt tot een vruchtbaar resultaat alhier gepubliceerd. Een (tussen) resultaat dat naar onze stellige mening beslist navolging zou moeten krijgen.

Tevens is dank verschuldigd aan de RecyBEM, de RecyBEM heeft het financieel mogelijk gemaakt de techniek van het devulkaniseren van synthetische rubber afkomstig uit personen-auto-banden te ontwikkelen.

Literatuur:

- [1] A.H. de Bondt, R.C. van Rooijen: Bitumen performance in pavements under extreme climatic conditions, paper prepared for 2nd Symposium of Bitumen and Asphalt, Teheran (Iran), 2004
- [2] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: Empfehlungen zu Gummimodifizierten Bitumen und Asphalten, Germany, 2012.
- [3] S.S. Saiwari, “Post-consumer Tires Back into New Tires: De-vulcanisation and re-utilization of passenger car tires”, PhD-thesis Universiteit Twente, 23 mei 2013.
- [4] P.V. Shivaprasad, W. Shifeng, H. Chandra: De-vulcanized tire rubber asphalt additive, paper prepared for the 184th International Elastomer Conference, Cleveland, (OH, USA), 2013.

¹ Contact informatie:

I: www.tire-roadconsortium.nl,

E: h.l.terhuerne@utwente.nl

P: 0031 53 489 2499