

Verouderingsonderzoek in de praktijk. Case studie met Surinaams bitumen.

Salil Mohan
Dura Vermeer Infrastructuur bv.

Jan Voskuilen
Rijkswaterstaat, GPO

Eyassu Hagos
KWS Infra bv.

Samenvatting

In Suriname wordt in alle asfaltmengsels slechts één type bitumen toegepast voor de wegebouw. Dit type bitumen, een penetratiebitumen 60/70, wordt geproduceerd door de Surinaamse raffinaderij Staatsolie. De crude is altijd van dezelfde oorsprong. Op grond van het tropische klimaat in Suriname werd aangenomen dat veroudering van bitumen vaak de oorzaak is van vroegtijdige schade zoals vermoeiing, craquelé, scheuren, rafeling en gaten. Om inzicht te verkrijgen in hoeverre het verouderingsgedrag van het bitumen een verklaring geeft het vroegtijdige schade, is onderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in de mate van veroudering van het toegepaste bitumen.

Hiertoe is bitumen teruggewonnen uit drie asfaltmengsels afkomstig van wegvakken, die moeten worden vervangen wegens vroegtijdige schade.

De mate van veroudering is gekarakteriseerd door middel van empirische proeven, reologische karakterisering, FTIR analyse en GPC metingen.

Tevens is een poging gedaan om de waargenomen mate van praktijk veroudering na te bootsen d.m.v. kunstmatige veroudering met de RCAT methode.

In deze paper wordt verslag gedaan van het onderzoek naar praktijk verouderd en op het lab kunstmatig verouderd bitumen en de gevonden onderlinge verschillen.

Keywords: Veroudering, bitumen, Rheologie, FTIR, RCAT

1. Introductie

1.1 Algemeen

Als gevolg van blootstelling aan zuurstof, UV en hoge temperaturen ondergaat bitumen gedurende de levensduur veranderingen, die uiteindelijk resulteren in een vermindering van functionele eigenschappen. Als bitumen sterk is verouderd resulteert dit in een degradatie van mengseleigenschappen, met als gevolg dat schade in asfalt wordt geïnitieerd welke kan leiden tot einde levensduur. Een juiste keuze van bouwstoffen en een adequate mengselontwerp procedure zijn van cruciaal belang om maximale prestaties van asfalt in de praktijk te realiseren. Het streven is om een optimum te vinden tussen duurzame, milieutechnisch verantwoorde en economische voordelen. Voornamelijk voor wegbouwkundigen ligt de uitdaging bij het inschatten van een te verwachten levensduur t.b.v. bijvoorbeeld onderhoudsplanningen.

Dit laatste vereist nauwkeurige informatie over het lange-termijn praktijkgedrag van de verschillende asfaltmengsels. In de zoektocht naar het voorspellen van dit lange-termijn praktijkgedrag zijn over de hele wereld talrijke studies [1, 2, 3 en 4] uitgevoerd in de afgelopen 65 jaar. Meerderheid van deze studies richt zich op het begrijpen en verklaren van fenomenen en ontwikkelingen, die zich voordoen in het bitumen gedurende de levensduur. Omdat geen van de studies is gericht op veroudering van bitumen onder tropische omstandigheden zijn de auteurs van mening dat het geen zin heeft om resultaten en bevindingen uit eerdere studies samen te vatten. In plaats daarvan stellen de auteurs dat het beter is om een verkennende studie uit te voeren naar het verouderingsgedrag van Surinaams bitumen onder tropische omstandigheden en om te proberen om deze veroudering op het lab te simuleren met kunstmatige veroudering. Op deze wijze wordt meer inzicht verkregen in welke veranderingen in bitumen plaats vinden als gevolg van veroudering en vormt deze kennis praktische handvaten waarmee op een meer solide basis keuzes kunnen worden gemaakt. Op basis van de opgedane kennis wordt verondersteld dat deze praktische “onbekenden” leiden tot aanvullende inzichten bij het opzetten van een onderzoeksplan, waar onderhavige paper zich ook op richt.

1.2 Veroudering van bitumen

Bitumen, soms aangeduid als het 'restant' van straight – run destillatie procedures, is een organisch materiaal waarvan vanwege de complexiteit de exacte compositie nog onbekend is [5]. Het vastleggen van optredende veranderingen in samenstelling als gevolg van veroudering en het relateren van deze veranderingen aan fysische eigenschappen, zal helpen helpen om het fenomeen veroudering beter te begrijpen. De gemeten veranderingen kunnen echter niet simpelweg worden geëxtrapoleerd om een algemene verklaring te geven.

Traditioneel wordt bitumen beschouwd als een colloïdaal systeem, bestaande uit zeer polaire asfaltene met een hoog molecuulgewicht, die verdeeld zijn in een met een lager molecuulgewicht olieachtig medium, meestal aangeduid als maltene. Maltene kunnen worden onderverdeeld in verzadigden, harsen en aromaten. De totale verhouding waarin de verschillende moleculen in het bitumen aanwezig zijn, zijn bepalend voor het resulterend gedrag [5].

Omdat bitumen een organisch materiaal is, treedt er n.a.v. blootstelling aan het klimatologische omstandigheden verandering op van de mechanische eigenschappen en de chemische structuur van het bitumen hetgeen bekend staat als veroudering. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen korte-termijn veroudering, wat optreedt tijdens productie en transport en verwerking en lange-termijn veroudering dat optreedt gedurende de levensduur van het asfaltmengsel. Korte-termijn veroudering wordt voornamelijk bepaald door de hogere temperaturen, terwijl lange termijn veroudering voornamelijk wordt veroorzaakt door oxidatie en ultraviolet (UV) straling. Hierbij vervult temperatuur de rol van een katalysator. Veroudering als gevolg van oxidatie aan het oppervlak is een onomkeerbare chemische reactie tussen de in bitumen aanwezige koolwaterstoffen en het beschikbare zuurstof. De resulterende reacties als gevolg van UV-straling treden snel op in de paar bovenste millimeters van het blootgestelde bitumen oppervlak [3,6]. Tijdens beide processen worden koolwaterstof groepen gevormd, die de polariteit van de verschillende moleculen verhogen en de mogelijkheid vergroten om zich te associëren met andere polaire componenten. Bij het optreden van deze associaties worden minder makkelijk oplosbare koolwaterstoffen gecreëerd, die op hun beurt de viscositeit van het bitumen verhogen en invloed hebben op andere fysische eigenschappen [7,8].

In verschillende studies [2,3,4] is getracht om de veranderingen als gevolg van veroudering vast te leggen en er zijn op basis daarvan laboratorium veroudering protocollen ontwikkeld om de praktijkveroudering na te bootsen. Om de onderzoekstijd te verkorten worden relatief hoge temperaturen gehanteerd, die feitelijk niet voorkomen in de praktijk. Onderzoek aan veroudering van bitumen n.a.v. vroegtijdige schade is vrij complex. Dat komt o.a. omdat in de meeste gevallen de initiële mechanische en chemische eigenschappen van het bitumen, zoals toegepast in het asfaltmengsel in de weg, niet zijn bepaald en/of vastgelegd, of is een type bitumen toegepast dat is geproduceerd uit variërende crudes. Ook is de daadwerkelijke belasting op de wegconstructie niet consequent gemeten en kan in sommige situaties, de schade die is geïnitieerd onder wintercondities, herstellen in warme zomers. Als gevolg van deze complexiteit is het correleren van praktijkschade aan veranderingen in bitumeneigenschappen als gevolg van veroudering vrij moeilijk.

1.3 Doelstelling

In Suriname wordt het bitumen voor de wegenbouw geproduceerd door het staatsbedrijf Staatsolie. Suriname's landoppervlak is onderdeel van het Guyana Schild, welke loopt van Venezuela tot aan Frans Guyana. De winbare olie reserves worden ingeschat op meer dan 13,6 miljard vaten en gasreserves van 39 triljoen FT3 [9] volgens de US Geological Survey. Het is interessant dat in Suriname in wegenbouw slechts één type penetratiebitumen 60/70 wordt toegepast in alle asfaltmengsels [10]. Omdat de crude constant is, is het dus interessant en uiteraard minder complex om variaties in bitumeneigenschappen te onderzoeken en deze te relateren aan prestaties in de weg.

Dit is belangrijk, omdat Suriname een tropisch klimaat heeft met gemiddeld maximale respectievelijk minimale temperaturen van 32 en 23 °C, de UV-index ligt tussen 10 en 11. Desondanks wordt er weinig tot geen aandacht besteed aan de verouderingsweerstand van bitumen en mogelijke variaties in praktijkgedrag. De redenen hiervoor zijn inzichtelijk gemaakt in een EU gefinancierd project "Institutional Strengthening of the Transport Sector (ISTS) in Suriname, dat liep van 2009 tot 2011 [10]. Dit onderzoek motiveerde het Surinaamse ministerie van Openbare Werken en lokale aannemers voor te ontwikkelen van tools om de huidige onderhoudsstrategieën verder te verbeteren en te optimaliseren.

De primaire doelstelling van deze studie was om het Surinaamse bitumen beter te karakteriseren met testmethoden, die over het algemeen worden toegepast bij het bestuderen van de mate van veroudering van bitumen. De eigenschappen van vers en kunstmatig verouderd bitumen zijn vergeleken met uit praktijkmonsters teruggewonnen bitumen. In deze paper worden de resultaten van de verschillende fasen besproken. De resultaten bieden een goed perspectief voor wegbeheerders en aannemers, omdat op basis hiervan criteria kunnen ontwikkeld in de richting van de uitvoering van de kwaliteitscontrole voor bitumenleveringen in de praktijk en het monitoren van het lange termijn praktijkgedrag van bitumen en dus het gedrag van de wegconstructie.

2. Experimenteel

2.1 Materialen

In onderhavige studie is een penetratiebitumen 60/70 zoals geleverd door Staatsolie, onderzocht. De eigenschappen van de bitumen zijn samengevat in tabel 1.

Tabel 1: Eigenschappen pen grade 60/70 bitumen

API gravity (-)	8,8
Penetratie (dmm)	63
Verwekingspunt (°C)	47,2
PI	-1,4

Naast onderzoek op vers bitumen, is bitumen teruggewonnen uit praktijkmonsters afkomstig van drie verschillende locaties. Er zijn op drie locaties kernen geboord uit dek- en tussenlagen, die vanwege vroegtijdige moesten worden vervangen. Op alle drie locaties was een dicht asfaltbeton mengsel toegepast voor beide lagen. Voor locatie C, is alleen uit de tussenlaag bitumen teruggewonnen. Tabel 2 geeft een beschrijving weer van de praktijkmonsters.

Tabel 2: Omschrijving praktijkmonsters

ID	Locatie (laag)	Laagdikte (mm)	Leeftijd (jaren)
A1	A (deklaag)	33	5
B1	B (deklaag)	45	11
C2	C (tussenlaag)	50	4

Het bitumen is uit de gehele laagdikte van het te onderzoeken asfaltmengsel uit boorkernen teruggewonnen. Er is dus geen onderscheid gemaakt tussen de bovenste millimeters, die door voornamelijk UV sterker verouderen en de rest van de boorkern.

Uit visuele inspecties op de verschillende locaties is gebleken dat de aanwezige schadebeelden meer lokaal georiënteerd waren. Daarnaast zijn er indicaties waargenomen dat er meer sprake is van constructief bezwijken, wat erop wijst dat naast veroudering van bitumen, meer oorzaken mogelijk zijn aan te wijzen voor de vroegtijdige schade. Zie figuur 1. Daarom is het erg complex om modellen te ontwikkelen, waarmee het lange termijn gedrag van asfaltmengsels in de praktijk te voorspellen op basis van verouderingsstudies op bitumenniveau.

Afgezien van het definiëren van asfalt mengseleigenschappen, die verschillen van land tot land, zijn de auteurs van mening dat het even belangrijk is om bitumen te karakteriseren met

behulp van testmethoden die correleren aan of in staat zijn op relatief simpele wijze een te verwachten mengselgedrag te voorspellen.



Figuur 1: Waargenomen praktijkschade: (links) locatie A, (midden) locatie B, (rechts) locatie C

2.2 Testmethoden

Alle bitumina zijn fysisch en chemisch gekarakteriseerd. Als empirische proef is gekozen voor het bepalen van het verwekingspunt conform de Europese norm EN 1427. De complexe modulus en complexe viscositeit metingen zijn uitgevoerd met behulp van een Anton Paar MCR 302 reometer. Complexe viscositeit metingen zijn uitgevoerd met de kegel en plaat meetopstelling ($D = 25 \text{ mm}$) bij een incrementele afschuifsnelheid vanaf $0,1 - 300 \text{ (1 / s)}$ bij twee temperaturen, 100 en $135 \text{ }^\circ\text{C}$. Frequentie sweeps zijn uitgevoerd met de plaat-plaat opstelling binnen een temperatuurbereik van -10 tot $50 \text{ }^\circ\text{C}$ en frequentiebereik van $0,1$ tot 300 rad/s . Om een zogenoemde mastercurve te construeren zijn de verschillende isothermen, bepaald met de frequentie sweeps, verschoven met behulp van de William Landel Ferry vergelijking [11], vergelijking 1, terwijl voor kwantitatieve vergelijkingsdoeleinden, een model is gefit in de verschoven testresultaten. Het gehanteerde model was is aangepaste Huet – Sayegh vergelijking [12], verder doorontwikkeld door Woldekidan [13], vergelijking 2.

$$\log(a_T) = \frac{-C_1(T-T_r)}{C_2+(T-T_r)} \quad (1)$$

$$(G^*(\omega))^{-1} = \left(G_0 + \frac{G_\infty - G_0}{1 + \delta(j\omega\tau)^{-m_1} + (j\omega\tau)^{-m_2}}\right)^{-1} - \frac{j}{\eta_3\omega} \quad (2)$$

In vergelijking 2, geven de termen $G^*(\omega)$, G_0 en G_∞ de complexe afschuifmodulus, visceuse afschuifmodulus, hier gelijkgesteld aan 0, en de glasmodulus weer. De modelparameters δ , m_1 en m_2 zijn identiek als het oorspronkelijke Huet–Sayegh model, terwijl de termen τ en η_3 de tijdsconstante respectievelijk de lineaire demper parameter weergeven. De toevoeging van een lineaire demperelement in serie met het oorspronkelijke Huet–Sayegh model, maakt het model aantrekkelijk voor het modelleren van de permanente deformatie van asfaltmengsels. In Suriname worden meestal bitumenrijke asfaltbeton mengsels toegepast in dek- en tussenlagen. In deze mengsels is de bijdrage van de viskeuze vervorming van het bitumen ten opzichte van de totale mengselvervorming, significant. Omdat de bitumeneigenschappen en

herkomst constant zijn, kan het model worden ingezet om de weerstand tegen permanente vervorming van asfaltmengsels te optimaliseren. Daarnaast wordt verondersteld dat modelparameters kunnen dienen als kwaliteitscontrole indicatoren.

Om de chemische veranderingen als gevolg van praktijk en kunstmatige veroudering te onderzoeken, zijn GelPermeatieChromatografie (GPC) en Fourier Transformatie InfraRood (FTIR) spectroscopie metingen uitgevoerd.

Kunstmatige lange termijn veroudering van het verse bitumen in het laboratorium is uitgevoerd met behulp van de Rotating Cylindrical Ageing Test (RCAT). Vanwege praktische beperkingen is de korte termijn veroudering (RCAT 163) helaas niet uitgevoerd.

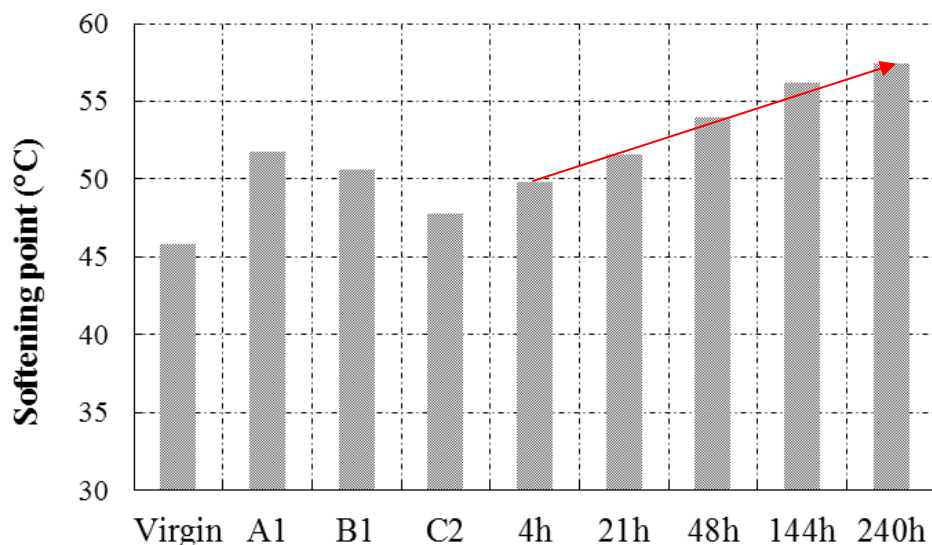
Het bitumen is verouderd bij een temperatuur van 90 °C in combinatie met een constante zuurstoftoevoer conform de Europese norm EN 15323. Monsters voor verdere analyse zijn genomen na de volgende tijdsintervallen: 4 uur, 21 uur, 48 uur, 144 uur en 240 uur.

3. Resultaten en discussie

3.1 Empirisch

In figuur 2 zijn de resultaten weergegeven van de gemeten verwekingspunten van alle onderzochte bitumina. Een verhoging van ongeveer 6 °C t.o.v. vers bitumen wordt waargenomen van het uit deklaag praktisch monsters teruggewonnen bitumen. Voor het C2 bitumen, afkomstig uit de tussenlaag, is een verhoging van 2 °C gevonden. Omdat de levensduur van B1 11 jaar bedraagt, werd een hoger verwekingspunt verwacht dan monster A1, dat een levensduur van 5 jaar heeft. Mogelijkerwijs verschilt de korte termijn veroudering als gevolg van productie, transport en verwerking tussen de 2 locaties. Dit laatste is echter helaas niet bekend.

De resultaten suggereren dat voor het simuleren van 5 tot 11 jaar praktijkveroudering van de bitumen van de deklaag, ongeveer 21 uur kunstmatige veroudering met de RCAT nodig is voor het verkrijgen van identieke verwekingspunten, terwijl voor het tussenlaag monster C2, dit minder dan 4 uur duurt.



Figuur 2: Verwekingspunt resultaten verse (virgin), praktijk en RCAT verouderd bitumen.

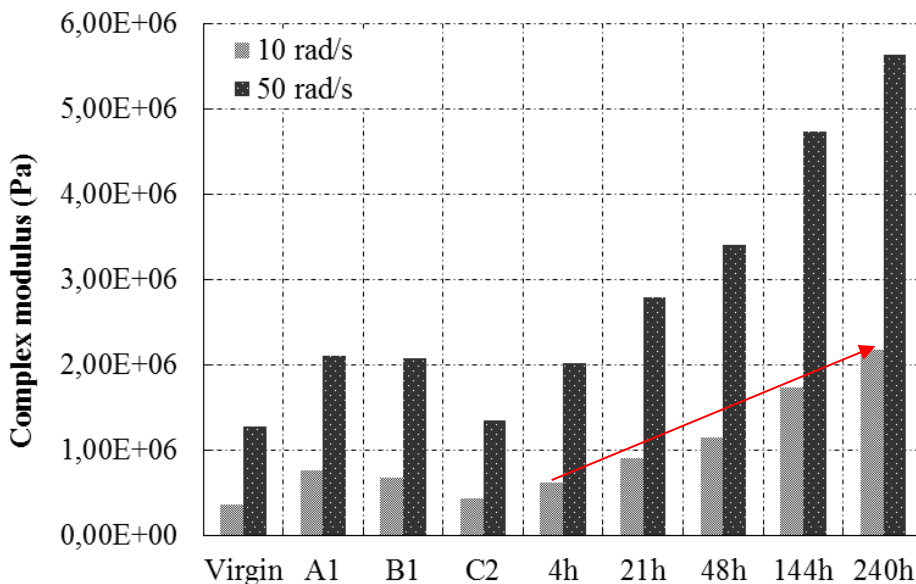
3.2 Reologisch

In tabel 3 is een samenvatting gegeven van verkregen modelparameters voor de verschillende bitumina. Met behulp van het model is de afschuifmodulus of bitumenstijfheid, berekend bij twee verschillende frequenties. Het gedrag van de onderzochte bitumina bij de gekozen frequenties wordt vergeleken in figuur 3.

Tabel 3: Verkregen modelparameters, $T_{\text{referentie}} = 30^{\circ}\text{C}$.

Par.	C_1	C_2	m_1	m_2	δ	τ (s)	η_3 (MPa.s)	G_{∞} (MPa)	$r^2 G^*$	r^2 Phase
Virgin	14,8	139,3	0,17	0,53	0,10	5,12E-02	0,05	930	0,999	0,999
A1	14,4	144,9	0,21	0,57	5,02	1,63E-01	0,16	1000	0,998	0,996
B1	15,0	148,0	0,30	0,69	4,93	1,28E-01	0,13	532	0,999	0,997
C2	16,1	160,5	0,23	0,61	4,66	8,01E-02	0,08	1000	0,998	0,997
4h	11,9	115,8	0,18	0,56	2,88	8,02E-02	0,08	1000	0,994	0,996
21h	12,7	124,6	0,20	0,57	2,52	1,28E-01	0,13	710	0,998	0,996
48h	13,2	127,6	0,21	0,59	2,70	1,77E-01	0,18	719	0,988	0,996
144h	18,0	156,5	0,21	0,59	3,39	4,68E-01	0,47	927	0,999	0,998
240h	18,0	160,0	0,20	0,55	2,82	6,00E-01	0,60	772	0,999	0,997

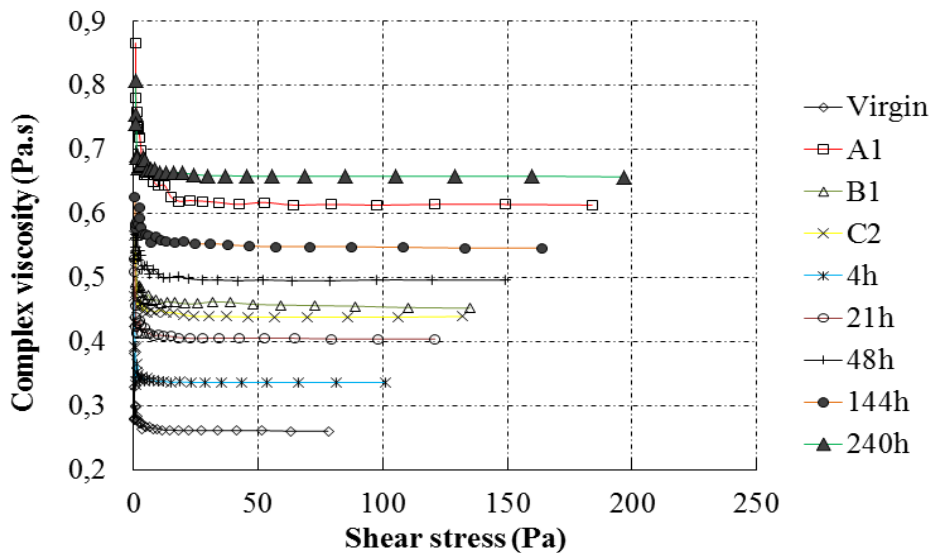
De verkregen correlatie coëfficiënten voor de complexe modulus en fasehoek, in de laatste twee kolommen van tabel 3, geven de nauwkeurigheid van het model weer waarmee de meetresultaten zijn gemodelleerd. De gevonden verschillen tussen de modelparameters impliceren dat als gevolg van veroudering, de reactie van de verschillende bitumina bij een gegeven temperatuur en belasting verandert. Dit wordt geïllustreerd in figuur 3.



Figuur 3: Vergelijking glijdingsmodulus (bitumenstijfheid) bij een referentietemperatuur van 30°C .

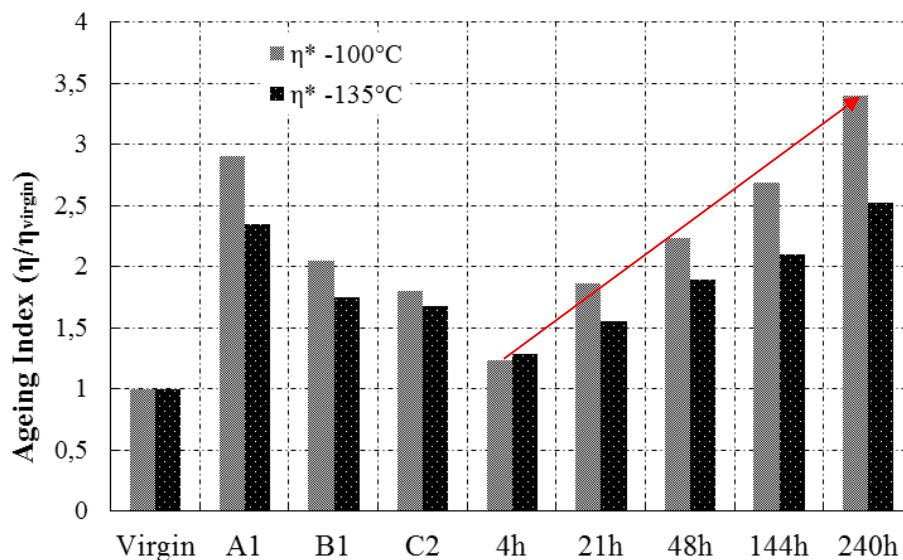
Deze verandering in reactie wordt het best geïllustreerd in figuur 4, waarin de resultaten van de complexe viscositeit metingen worden vergeleken. Alle monsters zijn onderworpen aan een incrementele schuifsnelheid van 0,1 tot 300 sec. In figuur 4 zijn de resulterende

schuifspanningen in het monster uitgezet tegen de gemeten viscositeit. Alle testresultaten volgen dezelfde trend, terwijl kan worden waargenomen dat de resulterende schuifspanningen het laagst zijn voor het verse bitumen en het hoogst voor de A1 en de 240 uur kunstmatig verouderd bitumen.



Figuur 4: Meetresultaten complexe viscositeit, T= 135°C.

In figuur 5 zijn de gemeten complexe viscositeiten van de verschillende bitumina met elkaar vergeleken op basis van een zogenoemde Ageing Index. De Ageing Index geeft de mate van toename/afname weer van een betreffende eigenschap ten opzichte van de startwaarde of nulpunt van dezelfde eigenschap. Als nulpunt zijn de resultaten van het verse bitumen aangehouden. De Ageing Index is bepaald op basis van viscositeitswaarden gemeten bij een schuifspanning van 50 Pa.



Figuur 5: Vergelijking complexe viscositeit metingen bij 2 temperaturen.

Uit figuur 5 kan worden afgeleid dat de benodigde laboratorium verouderingstijd om praktijkwaarden na te bootsen, varieert van circa 21 tot 240 uren. Interessant is dat de benodigde tijdsduur verschilt van de benodigde tijd om praktijkwaarden te bereiken voor

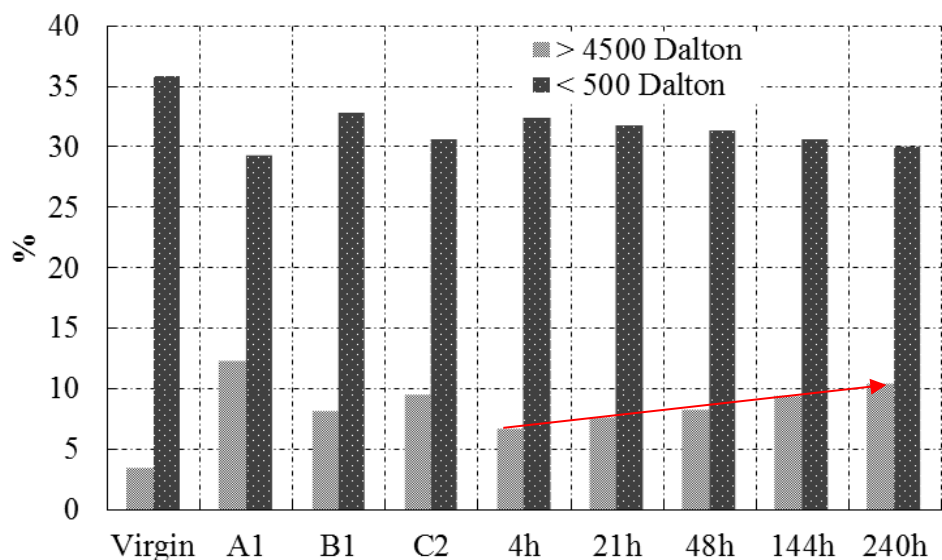
verwekingspunten en de bitumenstijfheid terwijl de onderlinge trend tussen de verschillende bitumina constant blijft ongeacht de beproevingswijze en daaruit afgeleide eigenschap.

3.3 Chemisch

In figuur 6 zijn GPC resultaten van de verschillende bitumina met elkaar vergeleken door de gemeten data te verdelen in twee groepen:

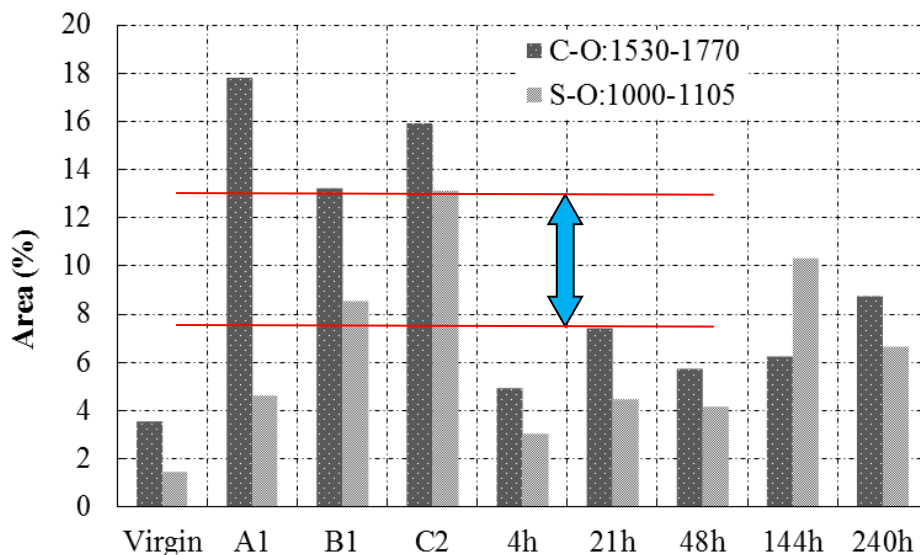
- Moleculen met een massa > 4500 Dalton
- Moleculen met een massa < 500 Dalton

Waargenomen kan worden dat veroudering resulteert in een toename van het aandeel grotere moleculen en logischerwijs een afname van het aandeel kleinere moleculen. Dit bevestigt dat gedurende het verouderingsproces, maltenen zich transformeren tot asfalteneen. Het is algemeen bekend, dat voor dichte deklagen de veroudering zich voornamelijk beperkt tot de bovenste millimeters van de laag. Opmerkelijk is dat er toch een duidelijke verandering in de moleculaire massa is waargenomen, zelfs voor bitumen C2, afkomstig uit de tussenlaag, en ondanks het gegeven dat in deze studie het bitumen is teruggewonnen van de totale laagdikte van het asfaltmengsel.



Figuur 6: GPC resultaten; percentage aandeel molecuulgroepen.

In figuur 7 zijn de onderzochte bitumina met elkaar vergeleken op basis van resultaten afkomstig uit infrarood metingen. Het oppervlak onder de piek bij specifieke golflengte intervallen, die als indicator gelden voor de formatie van verouderingscomponenten, is berekend met behulp van beschikbare softwarepakketten. Voor de laboratorium verouderde monsters wordt enige mate van spreiding waargenomen. Desondanks is een logische trend waarneembaar dat het oppervlak onder de pieken toeneemt met verouderingstijd. Opvallend is het relatief groot verschil tussen de praktijkmonsters en kunstmatig verouderde monsters. Gezien het feit dat het bitumen van de praktijkmonsters afkomstig is van de totale laagdikte en onderworpen is aan korte termijn veroudering als gevolg van productie, transport en verwerking, kunnen de verschillen niet verklaard worden. Mogelijk hebben de praktijkmonsters niet in dezelfde mate de korte-termijn veroudering ondergaan. Een andere reden kan de toegepaste verouderingsmethode zijn; in de RCAT wordt geen UV toegepast.



Figuur 7: Berekende oppervlak onder piek bij gekozen intervallen.

3.4 Discussie

Alle verkregen resultaten van de onderzochte bitumina laten zien dat zowel de laboratorium als de praktijkveroudering zowel de fysische en chemische eigenschappen van het oorspronkelijke bitumen beïnvloeden. Het verschil in benodigde tijdsduren kunstmatige veroudering om praktijkwaarnemingen na te bootsen, benadrukt de noodzaak tot het selecteren van correcte startwaarden en/of nulpunten voor het bepalen van een Ageing Index. In het onderhavige onderzoek is aangenomen dat tot het tijdstip van verdichting alle onderzochte praktijk bitumina identieke korte-termijn veroudering hadden ondergaan. Er kunnen echter verschillen zijn ontstaan door verschil in productietemperaturen, transportafstanden of anders. Mogelijkerwijs dat dit een verklaring is voor het verschil in benodigde tijdsduur om gekozen eigenschappen na te bootsen.

Daarnaast is bitumen teruggewonnen uit de gehele laagdikte. Desalniettemin zijn de verkregen resultaten discriminerend genoeg om de verschillende bitumina met elkaar te kunnen vergelijken. Dit is ook bevestigd door de constante ranking tussen de onderzochte bitumina ongeacht de testmethode.

De in dit onderzoek gehanteerde methodologie biedt een uitstekend uitgangspunt voor het ontwikkelen van een goed begrip over de lange-termijn gedrag van asfaltmengsels in de praktijk onder tropische omstandigheden. Echter voor het voorspellen van een technische levensduurverwachting op basis van bitumen verouderingsonderzoek, zijn de auteurs van mening dat het consequent vastleggen van bitumeneigenschappen voor productie, na productie en gedurende de levensduur door middel van periodiek boorkernonderzoek, onvermijdelijk is.

4. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

De conclusies betreffende vergelijking tussen laboratorium en praktijk veroudering van bitumen gelden strikt genomen voor Surinaamse klimatologische omstandigheden, maar de kern van de boodschap is algemeen. In tabel 4 zijn de meest relevante resultaten van het onderzoek samengevat en is te zien hoeveel uur kunstmatige veroudering nodig is om per eigenschap de praktijk veroudering te simuleren.

Tabel 4. Samenvatting van meest relevante onderzoeksresultaten.

	Praktijk	Lab (RTCAT-90)					
		4 hr	21 hr	48 hr	144 hr	240 hr	> 240 hr
R&K temp	Virgin						
	A1						
	B1						
	C2						
H-S modeling	Virgin						
	A1						
	B1						
	C2						
Viscositeit	Virgin						
	A1						
	B1						
	C2						
GPC	Virgin						
	A1						
	B1						
	C2						
FTIR	Virgin						
	A1						
	B1						
	C2						

Op basis van de verkregen testresultaten worden de volgende conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan:

- Om op lange-termijn praktijk veroudering onder Surinaamse klimatologische omstandigheden na te bootsen, is 4 tot 24 uur RCAT veroudering voldoende voor deklagen en minder dan 4 uur voor de tussenlagen.
- RCAT veroudering bootst de praktijkveroudering in Suriname op lange termijn na, maar de benodigde tijd voor simulatie van de praktijkveroudering verschilt per onderzochte bitumeneigenschap.
- Aanbevolen wordt om in een vervolgonderzoek ook korte-termijn veroudering mee te nemen en voor deklagen het bovenste gedeelte van de asfaltlaag te onderzoeken. Dit laatste zal het onderscheidend vermogen verbeteren.

Referenties

1. Oort van W. P. (1954). A study of the ageing of asphaltic bitumen. Delft University of Technology
2. Petersen et al. (1994). Binder Characterization and Evaluation, volume 1. Washington DC
3. Hagos E. T. (2008). The Effect of Ageing on Binder Properties of Porous Asphalt Concrete. Delft University of Technology
4. Das P. K. (2014). Ageing of Asphalt Mixtures: Micro – scale and mixture morphology investigation. KTH Royal Institute of Technology
5. Read J. en Whiteoak D. (2003). The Shell Bitumen Handbook, Fifth edition. Thomas Telford, London

6. Petersen J. C. (2009). A Review of the Fundamentals of Asphalt Oxidation. In: Transportation Research Circular. Available via TRB. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec140.pdf>. Accessed 1 Oct 2014
7. Lesueur D. (2009). The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. *Adv. Colloid Interface Sci.* 145: 42-82
8. Redelius P. (2009). Asphaltenes in Bitumen, What They Are and What They Are Not. *Road Materials and Pavement Design*, 10: sup1, 25-43. DOI: 10.1080/14680629.2009.9690234
9. Argus (2014). Argus Asphalt Report. Available via ARGUS. <http://www.argusmedia.com/~media/Files/PDFs/Samples/Argus-Asphalt.pdf>. Accessed 20 Oct 2014
10. NEA (2010) Quick scan: Faalmechanismen asfaltwegen in Suriname. Available via NEA Suriname. http://www.neasurinameists.org/?page_id=6. Accessed 1 Oct 2014
11. Christensen, R.M. (1982). *Theory of viscoelasticity: An introduction*, Second edition. Academic press, New York
12. Huet C. (1963). *Etude par une méthode d'impédance du comportement viscoélastique des matériaux hydrocarbonés*. Faculté des Sciences de Paris, Paris.
13. Woldekidan M. F. (2011). *Response Modelling of Bitumen, Bituminous Mastic and Mortar*. Delft University of Technology.