

De invloed van PMB gedrag op functionele eigenschappen: van bitumeneigenschappen naar verhardingsontwerp

Jian Qiu
Jan Willem Venendaal
Maarten Jacobs
Marco Oosterveld
Remy van den Beemt
Mark Frunt
BAM Infra Asphalt, Utrecht, NL

Samenvatting

Polymeer gemodificeerde bitumina (PMB) bestaan uit penetratie bitumen met verschillende soorten polymeren (SBS, EVA, enz.). PMB's beïnvloeden de functionele eigenschappen van asfaltmengsels en daardoor het gedrag van asfaltconstructies. Door BAM Infra is een onderzoek uitgevoerd naar de invloed van gemodificeerd bitumen op asfalteigenschappen. Het onderzoek is uitgevoerd op bitumenniveau, mengselniveau en op het niveau van de verhardingsconstructie. Voor dit onderzoek zijn DSR-proeven, type-onderzoeken en OIA-berekeningen uitgevoerd. Uit het DSR-onderzoek blijkt dat polymeer gemodificeerd bitumen ander gedrag vertoont (hogere stijfheid en lagere fasehoek) bij een hoge temperatuur en/of bij lage frequenties ten opzichte van bitumen zonder modificatie. Polymeer gemodificeerd bitumina hebben een gunstige invloed op de functionele eigenschappen van asfaltmengsels, zoals een hogere weerstand tegen spoorvorming en een hogere weerstand tegen vermoeiing. Sommige asfaltmengsels met gemodificeerd bitumen hebben echter een zeer hoge weerstand tegen vermoeiing waardoor de ϵ_6 -waarde hoger is dan de maximale ϵ_6 -categorie die in de Europese norm van asfaltbeton (NEN-EN 13108-1) wordt gehanteerd ($\epsilon_{6,\max} = 310 \mu\text{m/m}$). Gemodificeerde mengsels hebben een steilere helling (N- ϵ relatie), waardoor problemen ontstaan bij de uitvoering van de vermoeiingsproef. Dit geeft problemen bij de bepaling van de OIA-parameters voor verhardingsberekeningen. Uit de verhardingsberekeningen blijkt dat, ten opzichte van verhardingsconstructies met penetratiebitumen, verhardingen met PMB's een dunnere asfaltconstructies opleveren. Door het toepassen van PMB's kan een goede weerstand tegen vermoeiing gecombineerd worden met een hoge stijfheid in de onderlaag. Het maatgevende bezwijkcriterium van verhardingsconstructies met PMB mengsels in de onderlaag treedt hierdoor, in de (onder)fundering of ondergrond op in plaats van onderin de asfaltconstructie. De toepassing van PMB onderlaagmengsels in verhardingen vereist extra aandacht voor de verdichtingsgraad van de PMB laag en de kwaliteit van de ondergrond en de (onder)fundering.

Steekwoorden

Bitumen, asfalt, dimensioneren, type onderzoek, polymeer gemodificeerd bitumen

1. Inleiding

Sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw, worden polymeren gebruikt als bitumen modificatie om de eigenschappen van asfaltmengsels te verbeteren. Het polymeer (EVA, SBS, SEBS enz.) zwelt op door absorptie van de lichte componenten uit het bitumen (maltenen), waardoor het een zeer goede affiniteit met het bitumen heeft [1]. Om de mogelijkheden van toepassing van PMB's te analyseren is een onderzoek uitgevoerd op bitumenniveau, mengselniveau en op het niveau van de verhardingsconstructie.

In dit artikel worden de resultaten van dit onderzoek gepresenteerd en worden de gevolgen voor het ontwerp en uitvoering van een asfaltverharding met een gemodificeerde onderlaag besproken.

2. Onderzoeken

2.1 Materialen

In dit onderzoek zijn in totaal 4 soorten polymeer gemodificeerde bitumina en een 40/60 penetratiebitumen gebruikt. In tabel 1 zijn de eigenschappen van deze bitumina weergegeven.

Tabel 1. Empirische eigenschappen van bitumina

Eigenschap	Pen 40/60	PMB1	PMB2	PMB3	PMB4
Penetratie [0,1 mm]	57	30	70	85	96
Verwekingspunt R&K [°C]	50,0	66,7	68,5	80,0	99,0
PI [-]	-0,9	1,1	3,5	5,9	8,5
Soorten modificaties	n.v.t.	EVA	SBS	SBS	SBS

Uit de empirische eigenschappen blijkt dat de Penetratie Index en het verwekingspunt van de PMB's hoger zijn. Dit betekent dat polymeer gemodificeerd bitumina minder temperatuurgevoelig zijn dan 40/60 penetratiebitumen. Een onderling vergelijk op basis van de penetratiewaarde is niet goed mogelijk omdat het verschillende soorten modificatie betreft. Met bovengenoemde bitumina zijn AC 16 bin/base mengsels gemaakt voor onderzoek. De samenstelling is in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2. Overzicht bouwstoffen en samenstelling gebruiken in AC 16 bin/base mengsels

Zeef	Samenstelling [%]
C22,4	100,0
C16	97,2
C8	69,0
2mm	43,0
125µm	8,4
63µm	6,0
Bitumengehalte [%]	4,1

2.2 DSR onderzoek

De frequentie- en temperatuurafhankelijkheid van de stijfheid en de fasehoek van de bitumina zijn bepaald in de Dynamic Shear Rheometer (DSR) conform NEN-EN 14770.

De stijfheid en fasehoek zijn bij verschillende frequenties (0,1 tot 60 Hz) en temperaturen bepaald. Twee diameter spindels zijn gebruikt bij de verschillende temperatuur-regimes:

- 30, 40, 50 en 60 °C: monster Ø 25 mm, gap van 1 mm.
- -10, 0, 10, 20 en 30°C: monster Ø 8 mm, gap van 2 mm.

2.3 Mengsel onderzoek

Bij het mengselonderzoek zijn de volgende proeven uitgevoerd conform proef 62 standaard RAW Bepalingen:

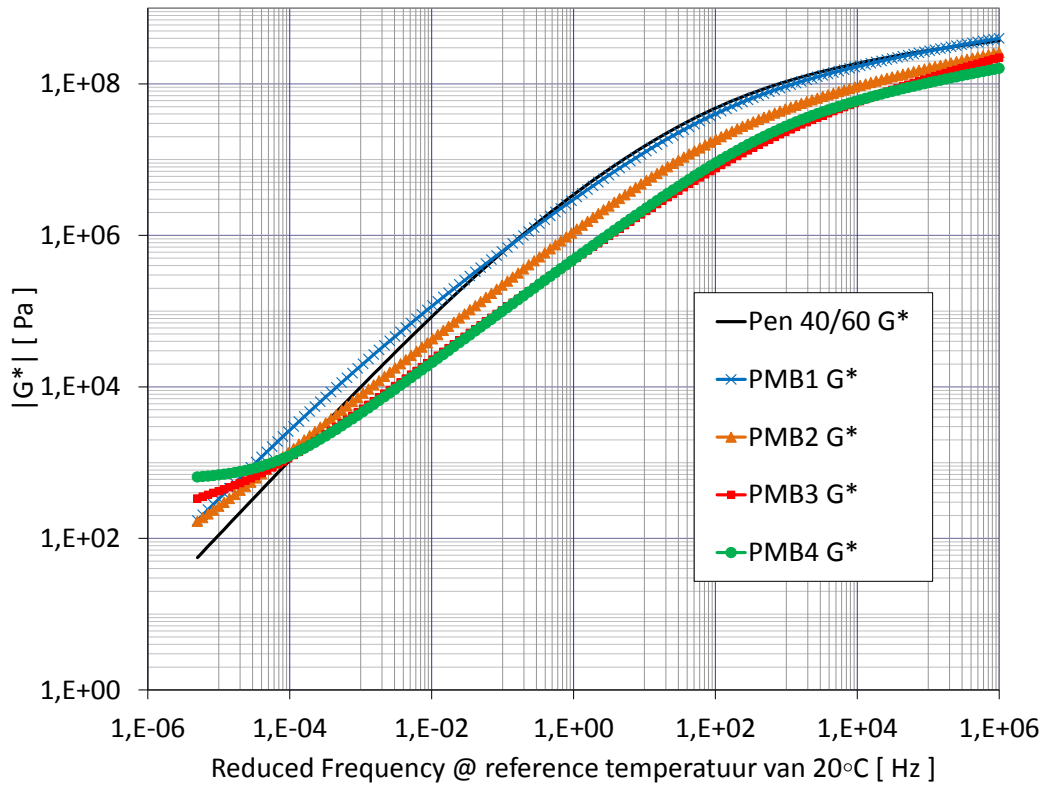
- De watergevoeligheid van het asfaltmengsel is bepaald conform NEN-EN 12697-12 en NEN-EN 12697-23.
- De stijfheid van het asfaltmengsel is bij verschillende frequenties (frequency sweep) bepaald conform Annex B van NEN-EN 12697-26 'Vierpuntsbuigproef op prismavormige proefstukken'.
- Aansluitend op de frequency sweep is van elke proefstaaf de vermoeiingslevensduur bepaald conform Annex D van NEN-EN 12697-24 'Vierpuntsbuigproef op prismavormige proefstukken'.
- De weerstand tegen permanente vervorming (spoorvorming) van de asfaltmengsels is bepaald door middel van de triaxiaalproef conform methode B van NEN-EN 12697-25 'Cyclische drukproef'.

2.4 Verhardingsontwerp

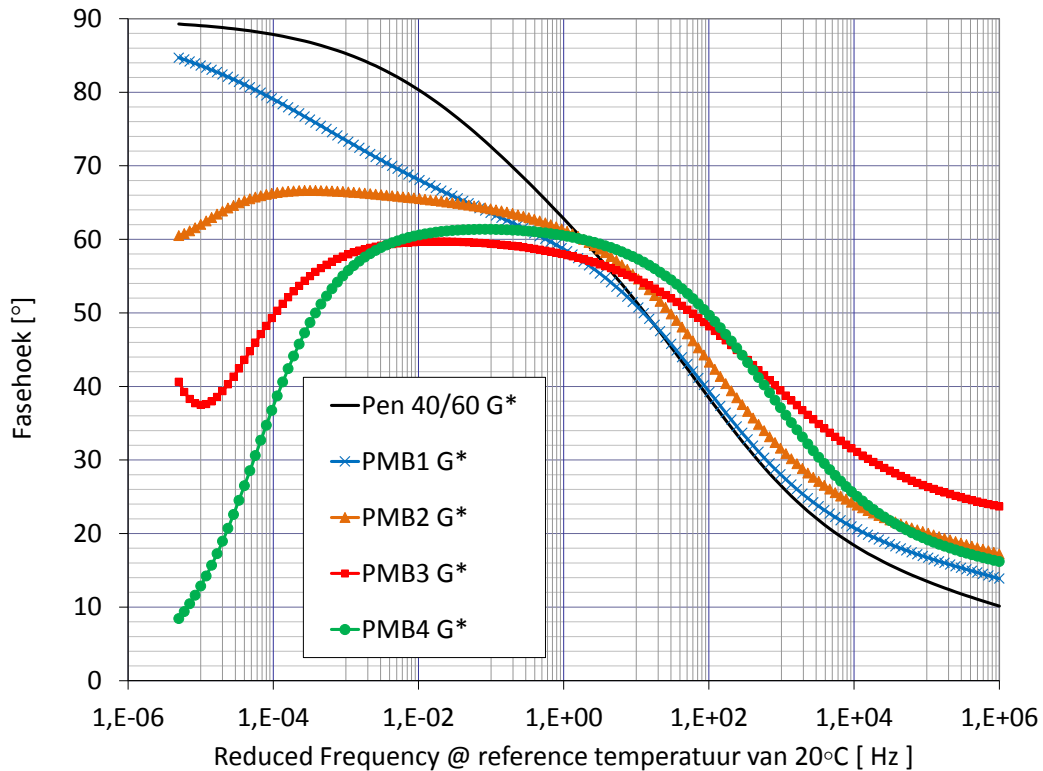
In het kader van dit onderzoek zijn met het Ontwerpinstrumentarium Asphaltverhardingen (OIA) verhardingsberekeningen uitgevoerd om de invloed van PMB mengsels op de dikte van de verhardingsconstructie te beoordelen. OIA is een lineair-elastisch rekenprogramma voor het ontwerpen van asphaltverhardingen. In OIA is het mogelijk om met de daadwerkelijke mengseleigenschappen (weerstand tegen vermoeiing en stijfheid) te rekenen. De mengseleigenschappen worden afgeleid uit het typeonderzoek. De constructie kan worden getoetst op vermoeiingsrekken onderin de onderste twee asfaltlagen en op stuik onderin de onderfundering en ondergrond. Voor dit onderzoek zijn constructies berekend op basis van dezelfde verkeerbelasting en ontwerplevensduur. In de berekeningen is het onderlaagmengsel (met en zonder modificatie) gevarieerd. Daarnaast is gevarieerd in de draagkracht van de ondergrond en de stijfheid van de fundering.

3. DSR-respons van PMB-bitumina

In figuur 1 en 2 zijn de resultaten van het DSR onderzoek weergegeven. Er zijn mastercurves van de stijfheid en fasehoek gemaakt met het tijd-temperatuur superpositie principe als uitgangspunt. De referentie-temperatuur van alle mastercurves is 20°C.



Figuur 1 G^* mastercurves van alle PMB's t.o.v. 40/60 pen bitumen



Figuur 2 Fasehoek mastercurves van alle PMB's t.o.v. 40/60 pen bitumen

Uit de mastercurves van de PMB's zijn de volgende conclusies te trekken:

- PMB's hebben een iets lagere stijfheid bij een lage temperatuur en/of bij hoge frequenties. De stijfheid van PMB1 blijft echter gelijk aan 40/60 bitumen. Bij een hoge temperatuur en/of lage frequentie is voor alle PMB's een iets hogere stijfheid gemeten t.o.v. penetratiebitumen.
- Uit de fasehoek is af te leiden dat alle PMB's een vlak verloop (plateau) vertonen bij de midden-frequenties (tussen 10^{-2} en 1Hz). Dit plateau geeft de fase-transitie van polymeren weer. Dit plateau kan gebruikt worden als een fingerprint van de modificatie ten opzichte van het penetratie bitumen. Het lijkt alsof PMB 4 een hoog modificatiegehalte heeft. Daardoor zal het bitumen namelijk bij hoge temperatuur elastisch gedrag vertonen in plaats van viskeus gedrag.
- Opgemerkt wordt dat de helling van de G^* mastercurves van alle PMBs iets lager ten opzichte van 40/60 pen bitumen is.

4. Eigenschappen van PMB-mengsels

De eigenschappen van de mengsels zijn onderzocht door het doen van typeonderzoeken conform proef 62 van de Standaard RAW Bepalingen 2015. Van de gyrator-proefstukken is het gemiddeld aantal omwentelingen bepaald tot aan de streefdichtheid, zodat de verdichtbaarheid van de mengsels kan worden vergeleken. De (streef)dichtheid van de mengsels is gelijk gehouden, omdat het bitumensoort hier geen invloed op heeft. Daarnaast is van de gyrator-proefstukken holle ruimte, bitumengehalte, watergevoeligheid en weerstand tegen permanente vervorming bepaald. Uit de proefplaten zijn proefbalk gezaagd waarvan stijfheid en de weerstand tegen vermoeiing is bepaald.

In tabel 3 zijn de resultaten van de mengseleigenschappen weergegeven. De mengseleigenschappen zijn daarom getoetst aan de mengselcategorie "IB" uit de Standaard RAW Bepalingen 2015. Sommige PMB mengsels vallen echter door de lagere stijfheid buiten deze categorie.

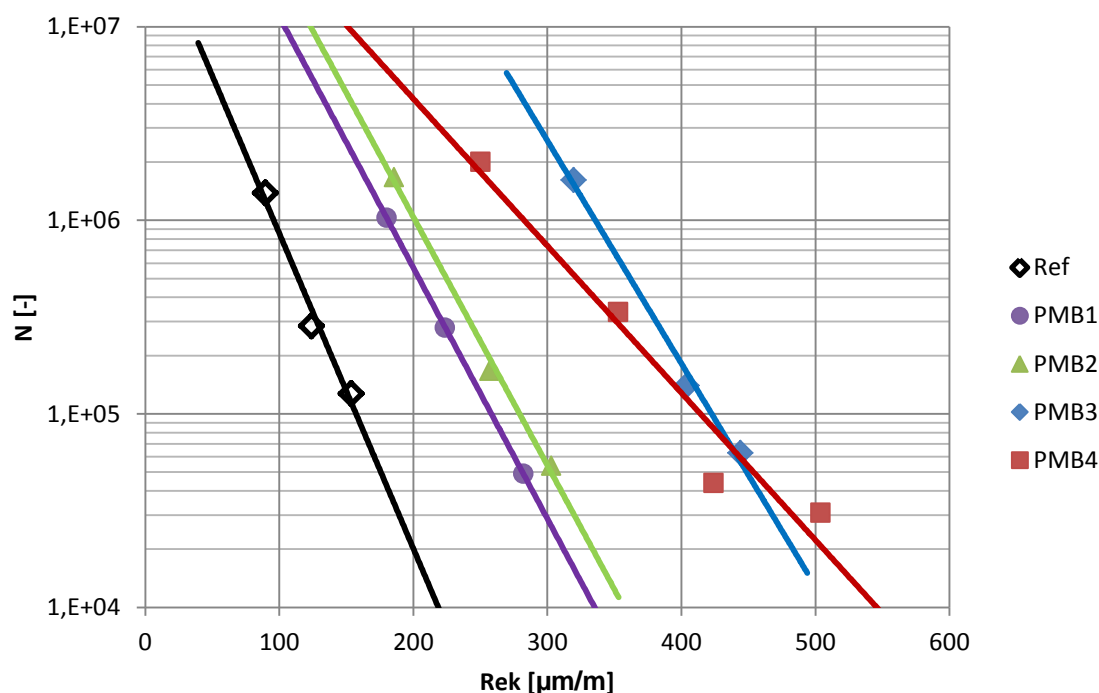
Tabel 3. Resultaten van het mengsel onderzoek van AC 16 bin/base mengsels met PMB

Eigenschap	40/60 pen	PMB1	PMB2	PMB3	PMB4
Omwentelingen [cycli]	20	11	21	36	23
Holle ruimte [%]	4,0	3,3	4,5	4,3	3,0
ITS [MPa]	3,21	2,25	2,94	2,21	2,05
Watergevoeligheid ITSR [%]	81	80	76	96	91
Weerstand tegen spoorvorming [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{cyclus}$]	0,51	0,09	0,10	0,13	0,15
Stijfheid 8Hz 20°C [MPa]	9569	8815	6080	3181	3249
Fasehoek 8Hz 20°C [°]	25,9	22,5	32	36,2	39,2
Weerstand tegen vermoeiing [$\mu\text{m}/\text{m}$]	94	181	199	332	275
OL-IB	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
TL-IB	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee
TLZ-IB	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
TDL-IB	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee

Uit de resultaten blijkt dat:

- De watergevoeligheid van PMB1 en PMB2 mengsels vergelijkbaar zijn met het referentie mengsel. Mengsels met PMB3 en PMB4 hebben echter hogere ITSR-waarden.
- Polymeer gemodificeerd bitumen heeft een positieve gunstige invloed op de weerstand tegen permanente vervorming (spoorvorming). Tussen de verschillende PMB soorten is er weinige verschil.
- De toepassing van de PMB in een asfaltmengsel kan de stijfheid verlagen tot 35%. De afnamen is afhankelijk van de PMB soort.
- Polymeer gemodificeerd asfalt heeft een hogere weerstand tegen vermoeiing. Sommige asfaltmengsels hebben zelfs een zeer hoge weerstand tegen vermoeiing waardoor de ε_6 -waarde hoger is in de genoemde maximale ε_6 -waarde ($\varepsilon_{6,max} = 310 \mu\text{m/m}$) categorie van de Europese norm van asfaltbeton (NEN-EN 13108-1) gevallen.

In figuur 3 zijn de vermoeiingsrelaties van de asfaltmengsels weergegeven. Opvallend is de steilere helling van de polymeer gemodificeerde mengsels ten opzicht van het referentie mengsel.

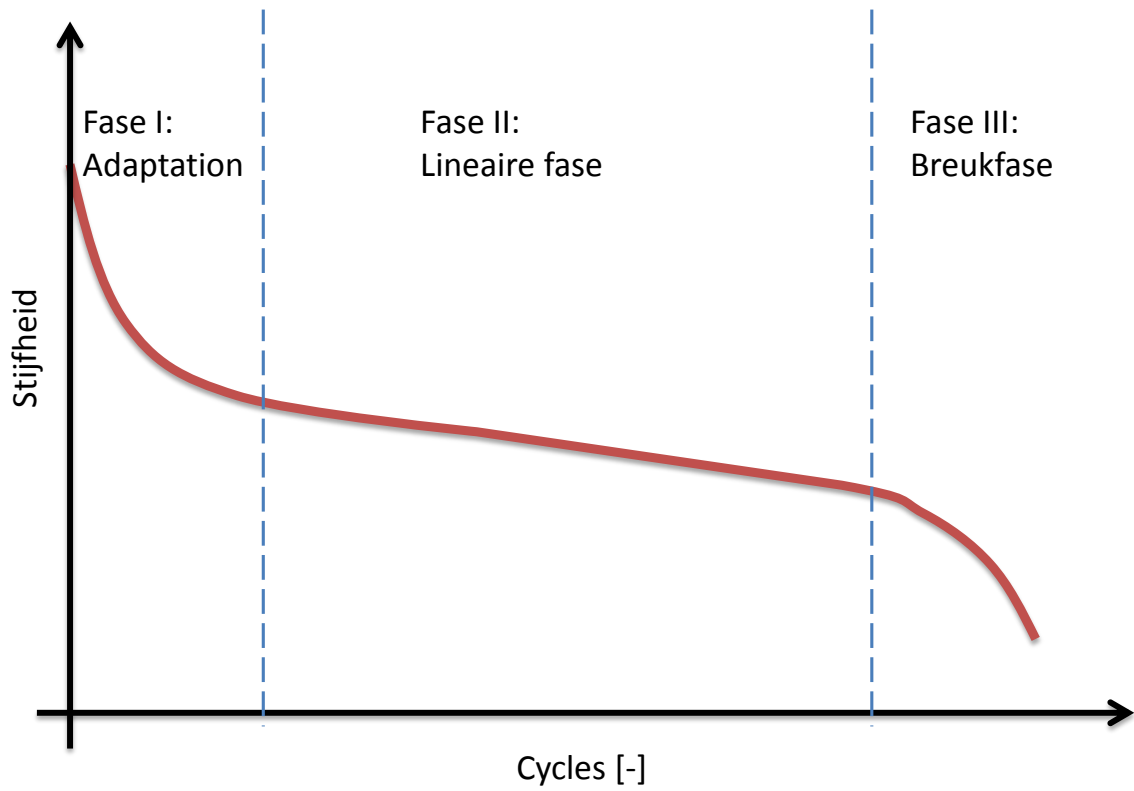


Figuur 3 Vermoeiingsrelatie $N-\varepsilon$ van asfalt mengsels

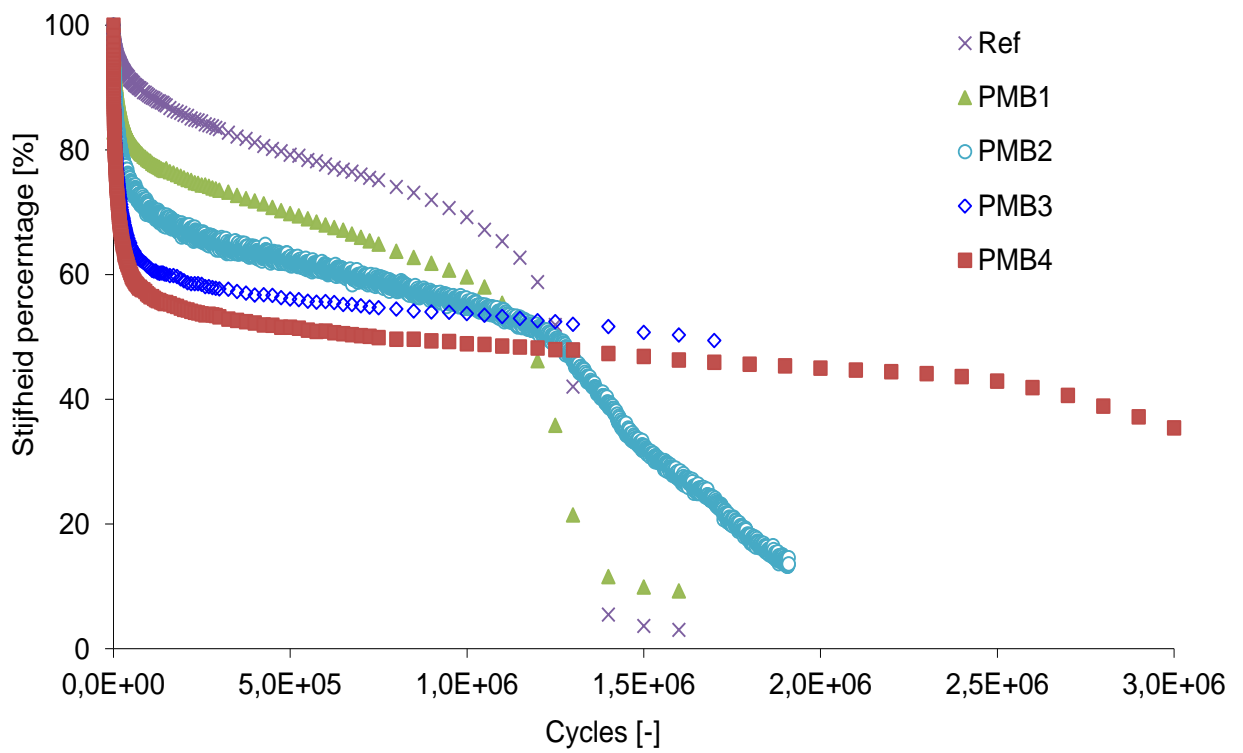
In figuur 4 zijn de vermoeiingscurves van de mengsels weergegeven met een gemeten N_f rond 1 miljoen belastingherhalingen.

Theoretisch bestaan vermoeiingscurves uit drie fases. Fase I is de fase van 2^e orde effecten van non-lineair visco-elastisch gedrag, thixotropie en temperatuur verhoging die niet gerelateerd is aan de vermoeiing van het mengsel. De substantiële verlaging van de stijfheid in relatief korte tijd worden veroorzaakt door deze fenomenen. Maar deze verlaging van de stijfheid is niet permanent. De stijfheid wordt 100% hersteld tijdens een rustperiode [2-3].

In Fase II worden microscheurtjes in het asfalt proefstuk geïnitieerd. In Fase III groeien deze microscheurtjes door (propagatie) en bezwijkt het asfalt progressief.



(a)



(b)

Figuur 4 Vermoeingscurves van de asfaltmengsels: (a) indicaties van drie fases; (b) gemeten curves met N_f rond 1 miljoen cyclus

In tabel 4 is van alle mengsels een overzicht van de verschillende vermoeiingsfases en de helling van fase II weergegeven. Uit de resultaten blijkt dat de PMB mengsels een lagere stijfheid in fase I hebben ten opzichte van het referentie mengsel. Verder wordt ook een lagere helling van fase II van PMB mengsels gevonden. Uit bovenstaande resultaten blijkt dat de PMB mengsels een totaal ander vermoeiingsgedrag hebben. Het arbitrair gekozen 50% stijfheid - bezwijkcriterium dat wordt gehanteerd voor het bepalen van de weerstand tegen vermoeiing is daardoor niet geschikt voor PMB mengsels. Hierdoor kan tevens een steile, niet realistische helling in de vermoeiingsrelatie worden gevonden.

Tabel 4 Overzicht van vermoeiing fases conform 4PB 50% stijfheid criterium

	Fase I	Fase II	Fase III	Stijfheidhelling van fase II [MPa/N]
REF	10%	25%	15%	1,78E-05
PMB1	20%	35%	5%	1,95E-05
PMB2	30%	15%	5%	1,33E-05
PMB3	40%	10%	nvt	5,79E-06
PMB4	45%	5%	nvt	4,12E-06

Omdat de weerstand tegen vermoeiing bij gemodificeerde asfaltmengsels zeer groot kan zijn moet, om vermoeiing te kunnen opwekken, een extreem grote verplaatsing aan het proefstuk worden opgelegd. Zo groot dat de opstelling buiten het bereik van de opnemers wordt belast en er géén betrouwbare vermoeiingsproef meer mogelijk is. Of dat er zoveel energie in het asfalt moet gepompt worden om schade te creëren. Deze energie heeft ook temperatuurverhoging van de balk tot gevolg met een stijfheid verlaging van het asfalt.

Binnen BAM Infra wordt voor deze asfaltmengsels aangegeven dat de ϵ_6 -waarde groter is dan 310 $\mu\text{m/m}$. Dit rekniveau wordt geverifieerd door 6 proefstukken bij dit rekniveau te beproeven. Alle proeven moeten een levensduur opleveren van meer dan 1 miljoen ($1 \cdot 10^6$) lastherhalingen.

5. Verhardingsontwerp met PMB mengsels

De volgende mengselparameters worden gebruikt voor het verhardingsontwerp:

- Stijfheid,
- Weerstand tegen vermoeiing,
- Healing.

Voor alle asfaltlagen in de verhardingsconstructie is de stijfheid een belangrijke parameter. De stijfheid en dikte van de lagen bepalen de rek die onderin het asfalt optreedt onder een belasting. De stijfheid van de lagen die het verst van de neutrale lijn liggen hebben hierin de grootste invloed op de dikte van de constructie.

Het fenomeen vermoeiing door verkeersbelasting speelt uitsluitend in asfaltlagen onder de neutrale lijn. De vermoeiingseigenschappen van de onderste lagen van de constructie zijn daarom maatgevend in het verhardingsontwerp.

Een andere belangrijke parameter is healing. Healing is het zelfherstellend vermogen van asfalt. Microscheurtjes die door vermoeiing van asfalt ontstaan, vloeien weer dicht tijdens rustperiodes.

In OIA wordt de shiftfactor healing gebruikt als vertalingsfactor tussen laboratoriumgedrag en praktijkgedrag. Er is veel onderzoek gedaan naar het fenomeen healing van asfalt. In principe kan healing van asfalt niet worden gevangen door één factor. De daadwerkelijke optredende healing in asfalt wordt namelijk bepaald door een matrix van invloeden, zoals temperatuur,

belastingstijd en conditie van het asfalt (veroudering, type mengsels enz.) [4]. De gehanteerde vertalingsfactoren voor het verschil tussen laboratoriumgedrag en het gedrag van asfalt in de praktijk liggen tussen 1 en 400! In tabel 5 zijn enkele factoren weergegeven die in andere landen worden gehanteerd die invloed hebben op de healing van het asfalt.

Tabel 5 Overzicht van internationaal gehanteerde factors

	Healing factor	Scheur propagatie	Versporings factor	Vertaalfactor Laboratorium-praktijk gedrag
VS				10-13
UK	5 of 20	20	1	100-400
Ierland				230
Shell SPDM	5	1	2	2-10
Frankrijk				1,6 -3,7
België	7,1	3	1-2,5	7,1-21,2
OIA	1-4			1-4

In OIA wordt de healingfactor uitsluitend op de onderste twee asfaltlagen toegepast, omdat alleen deze op vermoeiing worden getoetst. De shiftfactor healing wordt, conform de Specificaties Ontwerp Asfaltverhardingen (SOA) [5], bepaald o.b.v. de eigenschappen van het bitumen (bitumengehalte en penetratie):

$$SF = 1 + 0,0000419 \cdot V_b^{1,06} \cdot pen^{2,45} \text{ waarbij } SF \leq 4$$

Waarin

- SF = praktijk shiftfactor op karakteristieke vermoeiingssterkte asfalt
- V_b = bitumengehalte [%]
- Pen = penetratiewaarde van het bitumen [0,1 mm]

Voor gemodificeerd bitumen wordt de shiftfactor healing op 1 gesteld. In dit onderzoek is, conform [6], voor de PMB mengsels een shiftfactor healing aangehouden van 1,0.

Voor mengsels met een ε_6 -waarde groter dan 310 $\mu\text{m/m}$ is door het ontbreken van voldoende datapunten het berekenen van de OIA-vermoeiingsparameters nodig. Dit betekenen PMB mengsels moeten beproeven worden met andere instellingen dan gewent op hogere rek niveaus. Dit, samen met het fenomeen van enorme stijfheid verlaging tijdens de vermoeiingsproef, markt meer onzekerheid voor dimensioneren met PMB mengsels als onderlaag waarbij vermoeiing maatgevend is. Daarom mengsels met een $\varepsilon_6 > 310 \mu\text{m/m}$ worden binnen BAM Infra normale in OIA enkel gebruikt als tussenlaag of deklaag. Op deze plaats in de constructie is vermoeiing is voor deze mengsels niet maatgevend in de verhardingsberekening.

In tabel 6 zijn de ontwerpparameters voor de OIA-berekeningen weergegeven. De berekeningen zijn uitgevoerd in de RWS ontwerpmodus. In de berekende constructies zijn de mengsels uit het onderzoek in de onder- en tussenlaag toegepast. De materiaaleigenschappen van de deklaag zijn constant gehouden. Er is gevarieerd in funderingsstijfheid en ondergrondstijfheid:

- Asfaltdeklaag:
 - 50 mm ZOAB 16 met een stijfheid van 2500 MPa,

- Asphalt onder- en tussenlaag:
 - Referentiemengsel
 - Mengsel met PMB1
 - Mengsel met PMB2
 - Mengsel met PMB3
 - Mengsel met PMB4
- Fundering
 - 250 mm hydraulisch menggranulaat (stijfheid 600 MPa),
 - 250 mm menggranulaat (stijfheid 400 MPa);
- Ondergrond
 - Ondergrond met een stijfheid van 120 MPa,
 - Ondergrond met een stijfheid van 50 MPa.

Tabel 6 Ontwerpparameters OIA berekeningen

Ontwerplevensduur	20 jaar
Betrouwbaarheid	85%
Aantal werkdagen per jaar	270 dagen
Aslastspectrum	DVS Zwaar
Bandenspectrum	Standaard
Aantal rijstroken per richting	2
Ontwerpsnelheid	80 km/h
Rijstrookbreedte	3,25 m
Afstand kantstreep tot rand verharding	3 m
Verkeersintensiteit	2100 mvt/dag/ri
Percentage vrachtverkeer	100%
Aantal va per dag/ri	2100 mvt/dag/ri
Jaarlijkse groei	0%

In tabel 7 zijn de resultaten van de OIA berekening weergegeven. Uit de berekeningen blijkt dat:

- De constructies met PMB mengsels erg dun zijn ten opzichte van constructies met het referentiemengsel. Dit betekent dat een dunner asfaltpakket mogelijk is door de toepassing van PMB mengsels.
- Er is een duidelijk verschil in dikte van een asfaltconstructie op een goed draagkrachtige fundering en op een minder draagkrachtige fundering. Op een minder draagkrachtige fundering/zandbaan is het verschil in asfaltdiktes tussen PMB mengsels en het referentiemengsel kleiner.
- Bij een goede fundering wordt, behalve bij PMB 3, de levensduur van de constructie met de PMB mengsels bepaald door het schadecriterium “rek onderin asfalt”. Opvallend is dat de schade voor “vervorming in ondergrond” boven de 30% is. Voor het referentie mengsel is de schade voor de “vervorming in ondergrond” slechts 3%.
- Bij een matig draagkrachtige fundering wordt de levensduur van de constructie met de PMB mengsels bepaald door de “vervorming in ondergrond”, de schade is hier namelijk 100%, waarbij de asfaltconstructie pas op 40% van de vermoeiingslevensduur is. Bij gebruik van het referentiemengsel bedraagt de schade door “vervorming in ondergrond” slechts 9%.

Tabel 7 Resultaten van OIA berekening

Deklaag	Tussenlaag /onderlaag	E _{fundering}	E _{ondergrond}	Berekende levensduur	Schade % vermoeiing onderlaag	Schade % vervorming ondergrond
ZOAB 50mm	Ref 193 mm	600 MPa	120 MPa	20 jaar	100%	4%
ZOAB 50mm	PMB1 97 mm	600 MPa	120 MPa	20 jaar	100%	48%
ZOAB 50mm	PMB2 91 mm	600 MPa	120 MPa	20 jaar	100%	72%
ZOAB 50mm	PMB3 93mm	600 MPa	120 MPa	20 jaar	1%	100%
ZOAB 50mm	PMB4 129 mm	600 MPa	120 MPa	20 jaar	100%	47%
ZOAB 50mm	Ref 230 mm	400 MPa	50 MPa	20 jaar	100%	9%
ZOAB 50mm	PMB1 140 mm	400 MPa	50 MPa	20 jaar	74%	100%
ZOAB 50mm	PMB2 157 mm	400 MPa	50 MPa	20 jaar	39%	100%
ZOAB 50mm	PMB3 198 mm	400 MPa	50 MPa	20 jaar	0%	100%
ZOAB 50mm	PMB4 196 mm	400 MPa	50 MPa	20 jaar	83%	100%

Voor de OIA-dimensionering op verticale stuijk bovenin de ondergrond wordt in OIA het Shell ondergrondcriterium gebruikt. De ondergrondstuijrelatie luidt:

$$\log(N_{\text{ond, kar}}) = 17,289 - 4 \cdot \log(\varepsilon_{\text{ond}})$$

waarin:

$N_{\text{ond, kar}}$ = toelaatbaar aantal lastherhalingen op basis van toelaatbare stuijk bovenin ondergrond (85% betrouwbaarheid asfaltrek criterium)

ε_{ond} = maximale verticale stuijk bovenin ondergrond ($\mu\text{m/m}$)

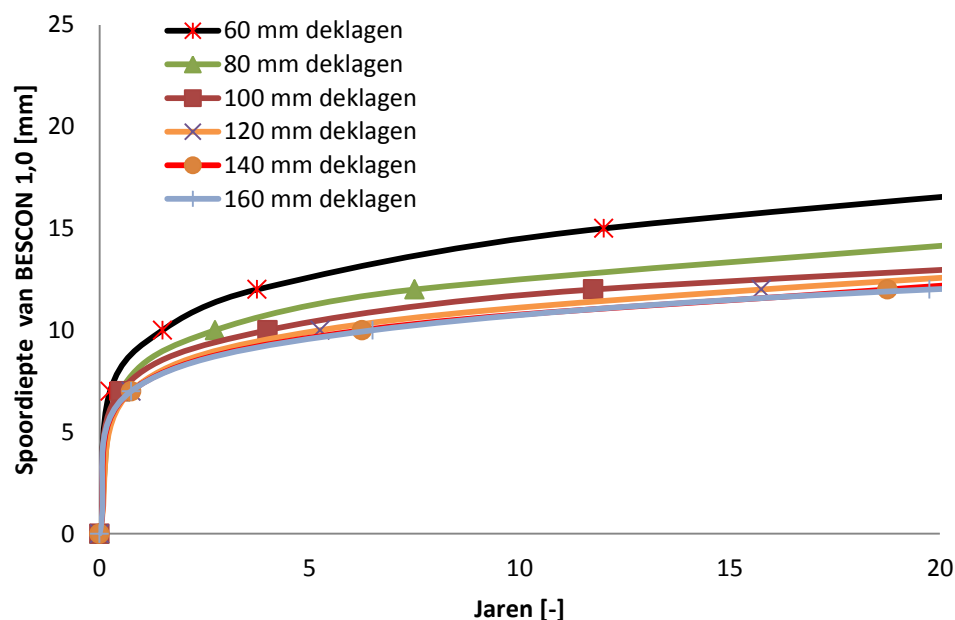
Als de berekende schade bij vervorming van de ondergrond 100% is, dat betekent dit dat er spoorvorming van 15-18 mm optreedt en een IRI van 3,5 wordt gevonden [5].

Het fenomeen van vervorming in de ondergrond is aanzienlijke met een dunnere constructie, zoals in een elementenverharding. Het verschil tussen asfalt constructie en de betonelementen constructie is dat de betonelementen een ongebonden laag vormen en dat een asfaltverharding een gebonden laag vormt. We kunnen een model op basis van een laag van betonelementen gebruiken om een “worst scenario” te modelleren. De software voor het berekenen van elementenverhardingen BESCON is daarom in dit onderzoek gebruikt om het fenomeen van de vervorming in de ondergrond te verifiëren. BESCON is gevalideerd op basis van spoorvormingsmetingen in de praktijk [6].

De in dit onderzoek gebruikte parameters voor BESCON zijn hieronder weergegeven.

- De verkeerbelasting is gelijk aan de uitgangspunten van de berekeningen in OIA.
- De asfaltlagen zijn gemodelleerd door de betonelementenlagen. Een betonelement laag heeft normaal gesproken een stijfheid van 2500 MPa tot 6000 MPa.
- Er is gekozen voor een betongranulaat van een gemiddelde kwaliteit. Dit materiaal uit de database van BESCON is ook aanwezig in de OIA materialendatabase.
- Er is gekozen voor een standaard materiaal voor zand met een stijfheid van 125 MPa.

In figuur 6 zijn de resultaten van de BESCON berekening weergegeven. Uit de resultaten blijkt dat een spoorvorming van 15 mm kan worden verwacht voor een verhardingslaag met een dikte van 80 mm. Dit resultaat is gelijk aan het resultaat van de OIA berekening. Deze berekening is gebaseerde op een goed draagkrachtige fundering en ondergrond. De kwaliteit van fundering en ondergrond is evident voor een zwaar belaste dunne verharding.



Figuur 6 Berekening resultaten van BESCON

6. Realisatie verhardingen met gemodificeerd asfalt

Door de toepassing van gemodificeerde mengsels zijn constructies te ontwerpen waarin de weerstand tegen vermoeiing geen dominante rol meer speelt. De optredende rekken kunnen namelijk makkelijker worden opgenomen door het gemodificeerd onderlaagmengsel. Echter treden naast grote horizontale rekken ook grote verticale verplaatsingen op. Hierdoor wordt de wegfundering zwaarder belast en zal als gevolg van herhaalde verkeersbelasting de ondergrondstuik overschreden worden.

Traditioneel worden asfaltverhardingen ontworpen op het ontwerpcriterium asfaltrek. Met het oog op onderhoud is dit ook het voordeligst: bij een bezwaken constructie wordt de

asfaltverharding vervangen. Bij een verharding waarin veel stuik is opgetreden dient zowel het asfalt als de fundering te worden vervangen.

Asfaltverhardingen zijn doorgaans als volgt opgebouwd:

- Asfaltverharding
- Fundering
- Zandbed
- Natuurlijke ondergrond

De functionele eigenschappen van een asfaltmengsel worden bepaald in een typeonderzoek. Vervolgens wordt asfalt in een gecontroleerd proces geproduceerd en verwerkt. Van funderingsmaterialen worden slechts op empirische wijze de eigenschappen bepaald. De verwerking is, ten opzichte van asfalt, een minder streng gecontroleerd proces. Voor zand geldt min of meer hetzelfde als voor funderingsmaterialen. De natuurlijke ondergrond tenslotte is een constructie laag waar de minste controle over is. Als de kwaliteitsbeheersing wordt bekeken, dan kan men stellen dat de aanleg van de onderste laag (natuurlijke ondergrond) het slechtst en het bovenste laag (asfalt) het beste te beheersen is. Het realiseren van een verharding met gemodificeerde onderlaag heeft speciale aandacht nodig. Bij deze verhardingen wordt hoge eisen gesteld te worden aan de kwaliteit van de fundering en de ondergrond.

- Mengsels met gemodificeerd bitumen moeten ruim op tijd besteld worden omdat het bitumen speciaal op bestelling gemengd worden.
- Daarnaast dient er bij de asfaltcentrale ruimte te zijn in een bitumentank voor het gemodificeerd bitumen. Een verharding waarin elk mengsel een andere modificatie bevat is dan ook een logistieke nachtmerrie. Een goede asfalttemperatuur is voor de verwerking evident. De viscositeit van gemodificeerd bitumen neemt sterker toe bij een lagere temperatuur ten opzichte van penetratiebitumen.
- Mengsels met gemodificeerd bitumen zijn dus verwerkbaar binnen een korter temperatuurtraject ten opzichte van mengsels met penetratiebitumen. Ten behoeve van de verwerkbaarheid wordt vaak gevraagd om de mengtemperatuur op te schroeven.
- De productietemperatuur van gemodificeerde bindmiddelen ligt hoger dan die van mengsels met penetratiebitumen. Hierdoor ligt echter ook het gevaar van het verbranden van de modificatie en/of bitumen op de loer. Gemodificeerde mengsels hebben de neiging om tijdens het verdichten terug te veren. Daarnaast moeten de mengsels door de hoge productie- en verwerkingstemperatuur ook meer warmte kwijt. Dit heeft tot gevolg dat het mengsel langer naverdicht moet worden. Bij grote producties is dus eerder extra walsinzet vereist. De verdichting van een gemodificeerde onderlaag is evident. Een dunne verhardingsconstructie is namelijk te danken aan de eigenschappen van de onderlaag. Door een slecht verdichte gemodificeerde onderlaag zal de levensduur van de verharding hard teruglopen.

7. Conclusies

Op basis van het gepresenteerde onderzoek zijn de volgende algemene conclusies kunnen trekken:

- Polymeer gemodificeerd bitumen vertonen een hogere stijfheid en een lagere fasehoek bij een hogere temperatuur en/of bij lagere frequenties ten opzichte van bitumen zonder modificatie.
- Mengsels met PMB's hebben een steilere helling van de $N-\varepsilon$ vermoeiing relatie. In de eerst fase van de vermoeiingsproef is een enorme verlaging van stijfheid waar te nemen.
- Mengsels met PMB's hebben een langere levensduur, waardoor dunne asfaltconstructies mogelijk zijn bij verhardingsontwerp. Maar dit soort dunne verhardingsconstructies bezwijkt niet alleen op vermoeiing onderin de asfaltconstructie, maar ook op stuik in de (onder)fundering of ondergrond.
- De toepassing van PMB onderlaagsmengsels in verhardingen vereist extra aandacht voor de verdichtingsgraad van de PMB laag en de realisatie van de constructie (ondergrond, zandbed, fundering) kwaliteit.

Er zijn ook aantal punten waarbij aandacht moeten geven:

- De grenzen in de EN normen en OIA en de onderliggende relaties zijn gebaseerd op ervaringen uit het verleden. Durven we zonder praktijk validatie aan te nemen dat de relaties gevonden voor penetratiebitumen voor de andere eigenschappen van PMBs blijven gelden, ook op de langere termijn?
- Er is a nieuwe manier van interpretatie van vermoeiingsgedrag van PMB mengsels nodig ten opzichte van de gebruikelijke $N_{50\% \text{ stijfheid}}$ criterium, bijvoorbeeld PH model of andere methode gebruiken [2].
- De idee van het maken van dunne verhardingsconstructies met PMB mengsels levert probleem op fundering of ondergrond, waarbij economisch nadeel is. Maar deze mengsels met zijn hoge weerstand tegen vermoeiing levert toch mogelijkheden voor perpetuele verhardingen, waarbij alleen deklagen vervanging nodig zijn binnen 30-50 jaar.
- Er is noodzakelijke om het gedrag van PMB mengsels in de praktijk en levensduur te inspecteren. De kwaliteit van verdichting en eigenschappen tegen veroudering, bijvoorbeeld, hebben ook invloed op levensduur van dit soort mengsel.

8. Literature

- [1] Isacson U. and Lu X., 1995. Testing and appraisal of polymer modified road bitumens – state of the art, *Materials and Structures*, Vol. 28, pp. 139-159.
- [2] Li N., 2013. Asphalt mixture fatigue testing – influence of test type and specimen size. PhD Dissertation, Delft University of Technology.
- [3] Di Benedetto H., de la Roche C., Baaj H., Pronk A. and Lundstrom R., 2004. Fatigue of bituminous mixtures, *Materials and Structures*, Vol. 37, pp. 202-216.
- [4] Qiu J., 2012. Self healing of asphalt mixtures, PhD Dissertation, Delft University of Technology.
- [5] Rijkswaterstaat Dienst Grote Projecten en Onderhoud, Specificaties Ontwerp Asfaltverhardingen (SOA), oktober 2014

- [6] Hurman M., 2006. Validation of the new Dutch design method for concrete block road pavements. 8th International Conference on Concrete Block Paving, November 6-8, 2006, San Francisco, USA.