



Ooms *Civiel bv*

Postbus 1
1633 ZG Avenhorn

Tel 0229 547700
Fax 0229 547701
www.ooms.nl/rd

Research & Development publicatie

ir. J.G.F. Schrader
dr.ir. A.H. de Bondt

**REFLECTIESCHEURVORMING INGEPAST IN HET REGULIERE
VERHARDINGSONTWERP**

CROW Infradagen 2016

22 – 23 juni 2016

Papendal

Reflectiescheurvorming ingepast in het reguliere verhardingsontwerp

J.G.F. Schrader
Ooms Civiel bv

A.H. de Bondt
Ooms Civiel bv

Samenvatting

Tijdens de afgelopen decennia is gebleken dat reflectiescheurvorming een zeer complex fenomeen is. Dit komt niet alleen doordat het maatgevende scheurmechanisme (verkeer, ongelijkmatige zettingen of temperatuurvariaties in de tijd) afhankelijk is van de project-specifieke kenmerken, maar ook omdat er vervolgens een spectrum van mogelijkheden is om reflectiescheuren tegen te gaan of te voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn het toepassen van dikke asfaltoverlagingen, het gebruik van gemodificeerde asfaltmengsels (bijvoorbeeld mengsels met een hoog bitumengehalte, mengsels met polymeergemodificeerd bitumen of mengsels die zodanig zijn samengesteld, dat een poreuze opbouw gegarandeerd is), het toepassen van een SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer), of het aanbrengen van (in veel soorten verkrijgbaar) asfaltwapening. Bovendien worden combinaties van bovenstaande voorbeelden ook nog veelvuldig toegepast.

Bij de groot onderhoudsprojecten op snelwegen en vliegvelden, maar ook bij de bouw van haverterreinen, is er vaak tijd, budget en informatie om een degelijk verhardingsontwerp te maken. Bij deze grote projecten is het cruciaal om (het beperken/voorkomen van) reflectiescheurvorming in het reguliere verhardingsontwerp in te passen, indien een cementgebonden fundering of een betonverharding aanwezig is. Scheurdoorgroei vanuit deze verhardingslagen (met discontinuïteiten) in en door de nieuw aangebrachte (dunne) asfaltoverlaging is namelijk in veel gevallen het dominante schademechanisme.

Ooms Civiel heeft een analysemethode ontwikkeld om reflectiescheurvorming ten gevolge van zowel temperatuurvariatie als verkeersbelasting mee te nemen in het reguliere ontwerp van het nieuw aan te leggen asfaltpakket. De temperatuurvariatie wordt geanalyseerd door middel van het softwareprogramma ARCDISO[®] en de verkeersbelasting wordt gesimuleerd met behulp van eindige elementen analyses. In deze paper wordt de analysemethode nader toegelicht. De ontwerpmethode is gekalibreerd op basis van lange termijn in-situ ervaring (praktijk scheuropnames) en wordt voortdurend verder gevalideerd.

Steekwoorden

Verhardingsontwerp, eindige elementen analyses, asfaltwapening, reflectiescheurgroei, polymeergemodificeerd asfalt.

1 Inleiding

Bij de voorbereiding van het (groot) onderhoud op snelwegen en/of vliegvelden leidt de aanwezigheid van een cementgebonden fundering (CTB) of ongewapende betonverharding vaak tot uitdagingen. In de CTB kunnen/zullen namelijk scheuren aanwezig zijn, terwijl in de betonverharding vaak voegen zitten. Daarnaast kan in de betonverharding ook nog scheurvorming opgetreden zijn. Als laatste worden er ook nieuwe verhardingen ontworpen met een gekerfde CTB-fundering. Over het algemeen wordt een CTB of een oude betonverharding in een verhardingsontwerp opgevoerd als een uniforme funderingslaag met een bepaalde mechanische materiaalstijfheid (E). Deze materiaalstijfheid kan gereduceerd worden tot een equivalente laagstijfheid om de aanwezigheid van scheuren, voegen en/of kerven te compenseren. Reflectiescheurvorming in het asfalt vanuit voegen en scheuren in de fundering wordt echter door de standard ontwerpsoftware niet meegenomen. Voor veel opdrachtgevers en aannemers is dit de reden om op voorhand het (her)gebruik van een CTB of een oude betonverharding uit te sluiten.

Volgens Ooms Civiel is het echter wel interessant om deze materialen te gebruiken, omdat ze goedkoop en wijd verkrijgbaar zijn en omdat ze in het algemeen een hogere stijfheid bezitten dan ongebonden granulaatfunderingen. Dit leidt meestal tot dunnere asfaltlagen bovenop de cementgebonden fundering en/of een dunnere funderingslaag zelf. Ooms Civiel heeft het voorkomen van (overmatige) reflectiescheurvorming onderbouwd door twee extra dimensioneringsberekeningen toe te voegen aan de traditionele meerlagenanalyses.

Als eerste dient de verhardingsopbouw ontworpen te worden met behulp van de traditionele ontwerpsoftware. Daarna wordt de verharding met behulp van het softwareprogramma ARCDESO[®] geanalyseerd op het risico van reflectiescheurvorming veroorzaakt door temperatuur gedreven (horizontale) plaatbewegingen. De resultaten van deze analyses worden beschreven in hoofdstuk 2. De bewegingen van de verticale plaat veroorzaakt door verkeersbelastingen worden geanalyseerd met behulp van het eindige elementenprogramma CAPA-3D en zal worden beschreven in hoofdstuk 3. De resultaten zijn samengevoegd in hoofdstuk 4.

2 Analyse temperatuurbelasting

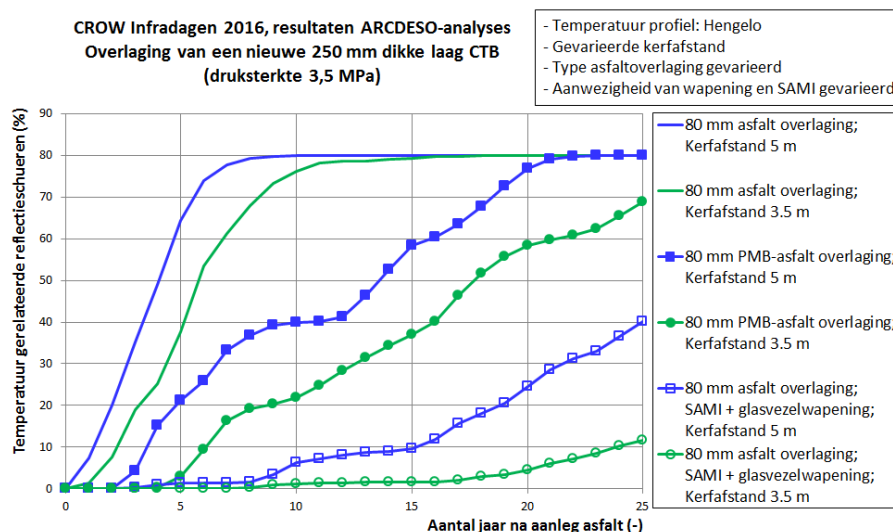
Tijdens het verharderen van een CTB kan krimp scheurvorming initiëren. Deze scheuren kunnen doorslaan naar de asfaltlagen bovenop de CTB, door de horizontale bewegingen van de CTB. De horizontale bewegingen worden veroorzaakt door de (dagelijkse) temperatuurscycli en deze kunnen ook scheurvorming in de CTB zelf initiëren. Op deze wijze ontwikkelt zich in de CTB een willekeurige scheurpatroon met een gemiddelde scheurafstand van meer dan 6 m. Door het kerven van de CTB over een kortere afstand, wordt de bovenliggende asfaltverharding ontspannen en zal een regelmatig scheurenpatroon ontstaan. De breedte (wijdte) van de kerven zal (na enige tijd) kleiner zijn dan de breedte van de natuurlijke scheuren en de seizoensgebonden/dagelijkse beweging van de kerven zal ook kleiner zijn, aangezien de door de temperatuur veroorzaakte bewegingen van kortere CTB-platen geringer zullen worden.

Ooms Civiel heeft het softwareprogramma ARCDESO ontwikkeld om asfaltverhardingen te ontwerpen op basis van het voorkomen van het bezwijkmechanisme thermische reflectiescheurvorming (www.ARCDESO.nl). ARCDESO is een afkorting voor “Anti-Reflective Cracking DEsign Software” en het programma is ontwikkeld met behulp van (gedeeltelijke) financiële ondersteuning van ADFORS Saint-Gobain. ARCDESO is een

mechanistisch-empirisch programma dat is gebaseerd op a) het promotieonderzoek van Arian de Bondt aan de TU Delft van 1989 tot 1996/1999, getiteld "Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays" [1] en b) uitgebreid aanvullend onderzoek door de R&D-afdeling van Ooms Civiel [2].

De ontwikkeling van ARCDESO heeft een decennium geduurd (van 2001 tot en met 2011) en daarna is het programma nog verder door Ooms aangepast door het te valideren en te kalibreren aan de hand van talrijke veld- en laboratoriumgegevens. ARCDESO is (één van) de eerste type(n) ontwerpsoftware in de wereld die zich bezighoudt met reflectiescheurvorming in asfaltverhardingen. Het visco-elastisch gedrag van het asfalt is indirect in het programma ingebouwd en de vermoeiing van de verharding wordt in rekening gebracht met behulp van de wet van Miner en uiteindelijk gepresenteerd aan de hand van een cumulatieve schadefactor ($CDF_{TEMPERATUUR}$). Bij de analyses wordt automatisch rekening gehouden met enige variatie in de materiaaleigenschappen en laagdiktes. Houd hierbij in gedachte dat volgens EU COST ACTION 348 [3] bij temperatuurbewegingen scheurinitiatie dominant is ten opzichte van scheurpropagatie.

In ARCDESO moet de projectspecifieke verhardingsopbouw worden ingevoerd, inclusief de afstand tussen de scheuren en/of kerven in de CTB-funderingslaag, of de afstand tussen de voegen en/of scheuren in een betonverharding. Ook moet het lokale, maandelijks temperatuurprofiel worden ingevoerd. ARCDESO vertaalt deze temperatuurgegevens naar gemiddelde dagelijkse temperatuurvariaties, gecombineerd met één extreme temperatuurvariatie per maand, en een seizoensgebonden temperatuurvariatie (zomer-winter periode). ARCDESO berekent het reflectiescheurvormingsgedrag vanuit de scheuren/kerven voor de ingevoerde (honderden) onderhoudsmaatregelen. Het onderhoud bestaat uit een asfaltoverlaging van een bepaalde dikte, waaraan optioneel een (glasvezel) asfaltwapening kan worden toegevoegd. Ook kan een bitumenemulsie, SAMI of een PMB-hechtlaag worden gebruikt. In ARCDESO zijn deze materialen ingebouwd via een afschuifveermodel. Er bestaat bovendien nog de mogelijkheid om het conventionele asfalt te vervangen door polymeergemodificeerd asfalt. De optimale plaatafmetingen kunnen bepaald worden bij een vaststaande onderhoudsmaatregel, maar de onderhoudsmaatregel kan ook worden geoptimaliseerd voor een gegeven plaatafmeting. In het algemeen zal de onderhoudsmaatregel waarmee begonnen wordt, gelijk zijn aan het resultaat (dikte) van de traditionele verhardingsberekening. In figuur 1 is een voorbeeld van de vergelijking van verschillende onderhoudsmaatregelen weergegeven.



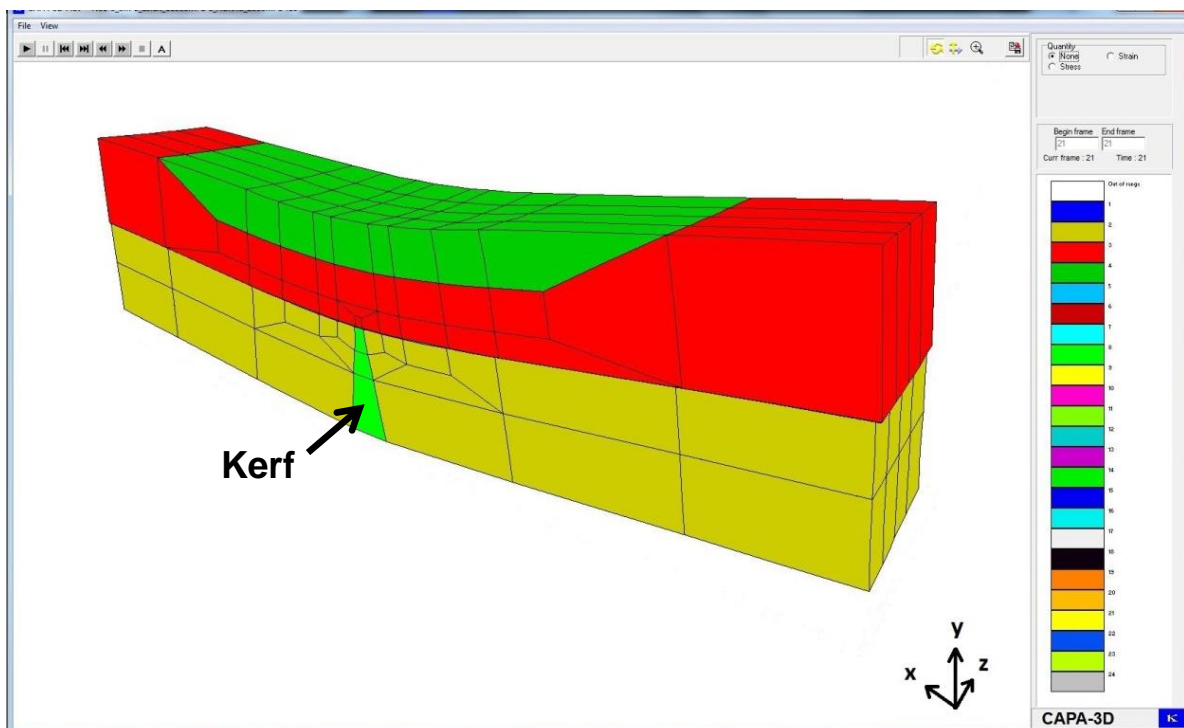
Figuur 1 ARCDESO resultaten van diverse overlagingmogelijkheden op een nieuwe 250 mm dikke CTB-funderingslaag

Uit figuur 1 blijkt dat een kortere kerfstand leidt tot minder reflectiescheurvorming. Ook komen de positieve effecten van de toepassing van PMB-asfalt en glasvezelwapening duidelijk naar voren.

Een belangrijke parameter in dit gedeelte van het verhardingsontwerp is de afschuifstijfheid van de interface tussen het asfalt en de onderliggende CTB. Aangezien er relatief weinig temperatuurbelastingen (slechts één cyclus per dag) worden doorgerekend en de temperatuurbelasting bovendien erg traag verloopt, is het niet waarschijnlijk dat vermoeiing van de afschuifstijfheid in de interface plaats zal vinden. Natuurlijk hangt de waarde van de optredende afschuifstijfheid af van de optredende temperatuur, de belastingtijd en de karakteristieken van de gekozen verhardingsmaterialen (welke materialen worden bijvoorbeeld gebruikt als hechtlaag?). ARCDES0 bevat hiervoor een uitgebreide databank met (geteste) materialen en interfaces.

3 Analyse verkeersbelasting

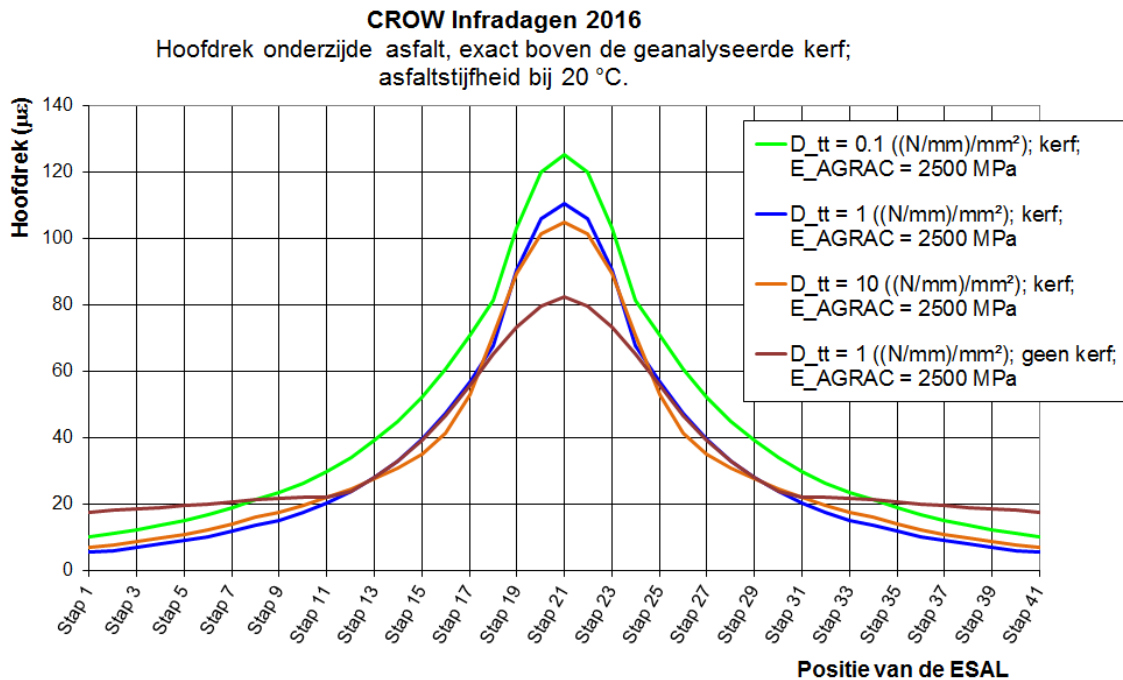
De verkeersbelasting kan ook tot reflectiescheurvorming vanuit de kerven/voegen/scheuren naar de asfaltoverlaging leiden. In het algemeen vermindert het effect van de verkeersbelasting naarmate de dikte van de asfaltoverlaging groter wordt (beter: de doorbuiging neemt af). Echter, er is geen vuistregel bekend vanaf welke overlagingdikte het effect van verkeersbelasting op de vorming van reflectiescheuren verwaarloosd kan worden. Dit betekent dat ook het effect van het verkeer altijd moet worden geanalyseerd c.q. beoordeeld. Eindige elementen modellering (EEM) is hierbij noodzakelijk. Ooms Civiel voert deze EEM analyses uit met behulp van de CAPA-3D-software, die ontwikkeld is in de sectie Constructiemechanica van de Technische Universiteit Delft [4]. Figuur 2 toont een gedeelte van een eindig elementenmodel dat wordt belast door een wiellast die exact bovenop de kerf gepositioneerd is. De weergegeven vervormingen in figuur 2 zijn 800 keer vergroot.



Figuur 2 Verticale verplaatsingen in EEM-model, veroorzaakt door wiellastmidden bovenop de kerf

In figuur 2 wordt het bovenste gedeelte van de CTB-fundering weergegeven, met inbegrip van de geopende kerf in het midden. Bovenop de CTB is het asfalt (rood/groen) zichtbaar.

Tijdens de analyses wordt de wiellast gevormd door een equivalente standaard aslast (ESAL). De ESAL wordt verschoven over de asfaltverharding en de bijbehorende rekken en spanningen in alle individuele elementen worden opgeslagen. De eerste stap in de analyse is het bepalen van de kritische wielpositie en daarvoor dient de maximale rek aan de onderzijde van het asfalt te worden bepaald. Figuur 3 toont dat de maximale hoofdrek wordt veroorzaakt door wielastpositie 21. Deze positie komt overeen met de wiellast exact boven de geanalyseerde kerf, wat betekent dat de (door)buiging van het asfalt in dit specifieke geval (project) het maatgevende schademechanisme is.



Figuur 3 Hoofdrek onderzijde asfalt boven de kerf, veroorzaakt door een ESAL

Figuur 3 toont aan dat de afschuifstijfheid (D_{tt}) van de interface tussen het asfalt en de CTB (gemodelleerd als een 1 mm dikke, losstaande horizontale laag tussen de kubus-elementen) inderdaad een belangrijk invoerparameter voor de analyse van de verkeersbelasting is. In het algemeen varieert deze afschuifstijfheid van 1 tot 10 (N/mm) / mm², maar de afschuifstijfheid kan verminderen tot slechts 0,1 (N/mm) / mm² in geval van vermoeiing tussen deze lagen (de afschuifweerstand bestaat uit een combinatie van (constante) droge wrijving en adhesie die in de loop van de tijd zal verminderen). De berekeningen zonder kerf zijn uitgevoerd om deze ontwerpmethode te vergelijken/kalibreren aan de traditionele ontwerpsoftware (waarbij de verschillende verhardingslagen homogeen zijn). Hierbij bleken resultaten gelijkwaardig en de gehanteerde methode dus toepasbaar.

Als het kritische schademechanisme is vastgesteld (doorbuiging of afschuiving), wordt de bijbehorende $CDF_{TRAFFIC}$ berekend voor verschillende waarden van de interface afschuifstijfheid. Onder andere de temperatuur, het vermoeiingsgedrag van het asfalt (bepaald via CE type-testing), het versporend rijden van het verkeer en de benodigde tijd voor een scheur om vanaf de onderzijde van het asfalt naar het verhardingsoppervlak te propageren, worden in deze berekening meegenomen. De scheurpropagatie is gebaseerd op de tijdvertragende factor die bepaald is in het proefschrift van M. Jacobs aan de Universiteit van Delft [5]. Volgens EU COST ACTION 348 is bij een verkeersbelasting de scheurpropagatie net zo dominant als de scheurinitiatie.

4 Bepaling ontwerplevensduur

De bepaalde CDF-waarden in hoofdstuk 2 en 3 moeten bij elkaar worden opgeteld om de ontwerplevensduur van de verhardingsstructuur te verkrijgen. Eigenlijk geldt deze gecombineerde CDF uitsluitend voor de ontwerplevensduur van het asfalt bovenop de kerven/scheuren/voegen in de CTB/betonverharding. Dit betekent dat bij een gecombineerde CDF-waarde van 100% (dus 1,0) alle kerven, scheuren en/of voegen zijn doorgescheurd tot aan het verhardingsoppervlak. Indien deze CDF-waarde van toepassing is op een situatie met bijvoorbeeld een kerfstand van 3,5 m, een gemiddeld gescheurd oppervlak over een breedte van 0,1 m en er verder geen scheurvorming aan het oppervlak aanwezig is, betekent dit dat over het gehele verhardingsoppervlak gezien "slechts" een CDF van 3% is bereikt.

Echter, in CTB-lagen met een lage vermoeiingssterkte, kan de combinatie van verkeer- en temperatuurbelasting mogelijk leiden tot extra scheurvorming in de CTB-laag zelf, die op een later moment weer kan doorslaan naar de bovenliggende asfaltverharding. Hierdoor bestaat de kans dat er op langere termijn scheurvorming in het asfalt zichtbaar zal worden, op locaties die zich niet boven een kerf bevinden.

Ooms Civiel heeft besloten de gecombineerde CDF boven een kerf tot een maximum van 0,5 te beperken. Gegeven dit criterium blijkt dat verhardingen met een lage interface afschuifstijfheid (in de buurt van 0,1 (N/mm) / mm²) vaak niet "overleven". Met andere woorden, een passende interface afschuifstijfheid (ook weer niet te hoog) is vereist.

5 Conclusies

- Ooms Civiel heeft thermische en verkeerslast analyses uitgevoerd om de ontwerplevensduur te bepalen van een verhardingsconstructie waarin een cementgebonden funderingslaag aanwezig is (of een betonverharding die overlaagd wordt). Hierbij is onder andere de weerstand van de verharding tegen reflectiescheurvorming vanuit een kerf, scheur of voeg meegenomen.
- Het ontwerp voor nieuwe verhardingsconstructies met een CTB of voor de overlaging van een bestaande betonverharding kan op projectbasis in een tijdsbestek van 3 weken aangeleverd worden.
- De resultaten van de EEM-analyse zonder kerf kwamen overeen met de resultaten van de traditionele verhardingsontwerpprogramma's en daaruit blijkt dat de hier gepresenteerde analysemethode geschikt is voor het uitvoeren van de beoogde verhardingsanalyses.
- Het is mogelijk om het ontstaan van reflectiescheurvorming in een cementgebonden fundering te voorkomen door de fundering bij aanleg te kerven en er vervolgens voldoende asfalt (met de juiste kwaliteit) op aan te brengen.
- Het voorkomen of beperken van reflectiescheurvorming kan worden opgenomen in het standaard ontwerp van (nieuwe) asfaltverhardingen door toevoeging van a) een thermische ARCDISO analyse en b) een EEM-analyse.

6 Literatuur

- [1] A.H. de Bondt; Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays; Proefschrift Technische Universiteit Delft; mei 1999
- [2] A.H. de Bondt; 20 years of research on asphalt reinforcement – Achievements and future needs; 7th RILEM Conference on Cracking in Pavements; Delft; 20–22 juni 2012
- [3] A.H. de Bondt; EU COST ACTION 348 - Reinforcement of Pavements with Steel Meshes and Geosynthetics - Work Package 4: Selection of Design Models and Design Procedures; 3 januari 2006
- [4] A. Scarpas & C. Karsbergen; CAPA-3D User's Manual; Technische Universiteit Delft; 1999
- [5] M.M.J. Jacobs; Cracking in Asphaltic Mixes; Proefschrift Technische Universiteit Delft; 1995