

Datum  
21 september 2017

Pagina  
1 | 6

## **MEMO**

### **FUNCTIONEEL VERIFIËREN**

*Functioneel Verifiëren houdt in dat op basis van functionele proeven op het asfalt na verwerking wordt beoordeeld of het geleverde product, binnen nader te stellen toleranties, voldoet aan de specificaties overeenkomstig de type test.*

#### ACHTERGROND

De type test bestaat uit een vaste verzameling proeven die specifiek per mengseltype zijn geselecteerd. Nederland heeft, in 2008 bij de invoering van de CE-markering, de keuze gemaakt deze mengselspecificaties functioneel te benaderen. Asphalt wordt sindsdien derhalve gespecificeerd en beoordeeld op basis van mechanische eigenschappen die representatief zijn voor het werkelijke gedrag van het materiaal in de weg. De functionele eigenschappen volgend uit de type test zijn inmiddels directe input voor het verhardingsontwerp (CROW-OIA). Als gevolg daarvan zijn verhardingsdimensies volledig afgestemd op de eigenschappen van het toegepaste asfalt en dus (kosten)efficiënter.

De ontbrekende schakel in het geheel is de relatie tussen de gemeten mechanische/functionele eigenschappen die in het ontwerp zijn toegepast en de daadwerkelijk gerealiseerde asfalteigenschappen in het werk. Informatie over verschillen tussen gerealiseerde en laboratoriumeigenschappen is enerzijds belangrijk voor het vaststellen van ontwerpveiligheden en anderzijds biedt het de mogelijkheid om feitelijk aan te tonen dat de ontworpen en gerealiseerde constructie binnen de gestelde veiligheden minstens aan elkaar gelijk zijn. De huidige controle van de kwaliteit van het verwerkte asfalt is nog grotendeels gebaseerd op empirische in plaats van functionele eigenschappen, waardoor discussies bij de oplevering van werken nog te veel gaan over waarden die helemaal niet meer relevant hoeven te zijn voor de kwaliteit van het werk.

#### INRICHTING VAN HET FUNCTIONELE KADER

Boskalis Nederland heeft zich de afgelopen vier jaar intensief gewijd aan de voorbereiding en de ontwikkeling van het functioneel verifiëren van asfalt. In tabel 1 is een overzicht opgenomen van de functionele proeven die deel uit maken van de functionele specificatie en verificatie voor asfaltbeton. Uit tabel 1 volgt dat met uitzondering van de vermoeiingsweerstand en de stijfheidsmodulus een directe vergelijking kan worden gemaakt tussen de gespecificeerde en de gerealiseerde asfaltkwaliteit. Enkel de eigenschappen bepaald middels de vierpuntbuigproef worden vergeleken met diezelfde eigenschappen, maar dan bepaald middels de Cyclische ITT proef. Het is namelijk zeer onpraktisch en zelfs onwenselijk uit gerealiseerd werk balkjes te zagen ter beproeving in het laboratorium.

Uit diverse onderzoeken is gevolgd dat de gemeten stijfheid van prismatisch proefstukken in 4PB en cilindrische proefstukken in CY-ITT elkaar erg goed benaderen (een gemiddeld verschil van 10%). De vermoeiingsweerstand uitgewerkt middels de conventionele analysemethodes, welke zijn gebaseerd op

rek, daarentegen zijn niet direct vergelijkbaar. Boskalis Nederland heeft om deze reden onderzoek gedaan naar alternatieve analysemethoden voor de weerstand tegen vermoeiing. De methode van Shen & Carpenter op basis van gedissipeerde energie lijkt hiervoor een meer geschikte methode.

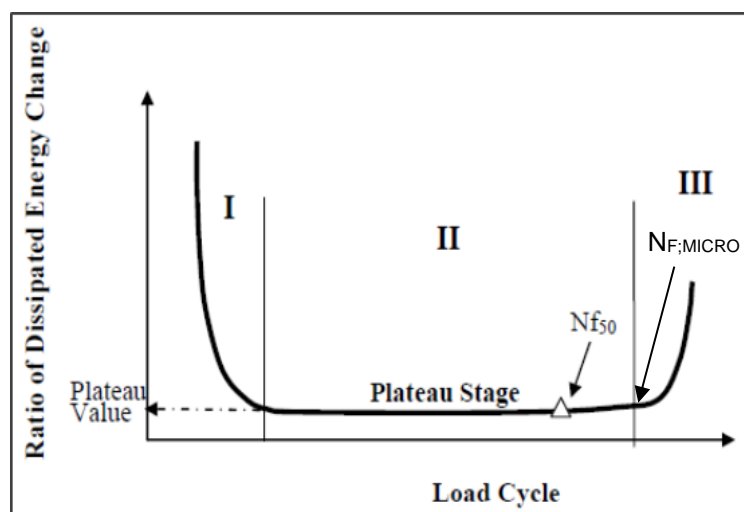
Tabel 1: Proeven ten behoeve van functionele specificatie en verificatie van asfaltbeton

EIGENSCHAP	TYPE TEST PROEF	FUNCTIONEEL VERIFIËREN PROEF
Doelsamenstelling	--	Extractie
Streefdichtheid	Boven- en onderwater weging	Boven- en onderwater weging
Sterkte/Watergevoeligheid	Statische Indirecte Trekproef	Statische Indirecte Trekproef
Vervormingsweerstand	Triaxiaal	Triaxiaal
Vermoeiingsweerstand	Vierpuntsbuigproef	Cyclische Indirecte Trekproef
Stijfheidsmodulus (@20°C & 8Hz)	Vierpuntsbuigproef	Cyclische Indirecte Trekproef

### Analysemethode vermoeiing | RDEC (Ratio of Dissipated Energy Change)

In 2007 is door Shen & Carpenter een analysemethode ontwikkeld waarmee het vermoeiingsgedrag van asfalt kan worden beschreven op basis van de RDEC, *Ratio of Dissipated Energy Change*. De RDEC is een parameter die voortkomt uit een rekenkundige bewerking van de gedissipeerde energie. Feitelijk beschrijft de RDEC het verschil in gedissipeerde energie tussen opeenvolgende lastcycli. Volgens Shen & Carpenter is dit verschil in energie tussen lastcycli de belangrijkste oorzaak voor het ontstaan van vermoeiing(schade). Gedissipeerde energie die geen schadevorming veroorzaakt, wordt in de bepaling van RDEC geëlimineerd. Uit de waarde van de RDEC kan dus worden opgemaakt wat voor invloed elke opvolgende lastherhaling heeft op schadevorming. De RDEC vertoont bij plotten een specifiek verloop, bestaande uit drie uitgesproken fases, figuur 2.1.

Binnen fase II, ook wel *plateaufase*, is een zogenaamde plateauwaarde PV, gedefinieerd. In de derde fase gaat de RDEC over van een constante waarde in een constant toenemende waarde. Deze overgang wordt geassocieerd met de propagatie van microscheuren naar macroscheuren. Na een bepaald aantal lastherhalingen bereikt de RDEC een maximum. Aan dit moment wordt het faal criterium breuk verbonden.



Figuur 2.1: RDEC [Shen&Carpenter, 2007]

In de RDEC-methode wordt het aantal lastherhalingen tot de overgang van microscheurvorming naar initiatie van macroscheuren,  $N_{F,MICRO}$ , uitgezet tegen de zogenaamde *plateauwaarde PV*, de waarde van de RDEC ter hoogte van de genoemde overgang van micro- naar macroscheurinitiatie. In het algemeen te stellen dat een materiaal met hogere PV meer schade ondervindt van herhaalde belasting dan een materiaal met lagere PV. Bij gelijke belastingcondities zal in een materiaal met een relatief hoge PV de initiatie van scheurvorming zich eerder voltrekken dan in materiaal met een relatief lage PV. Bovendien zal de ondervonden schade naarmate het aantal lastherhalingen toeneemt sneller groeien dan in materialen met lagere PV.

Volgens Shen & Carpenter bestaat er dus voor een asfaltmengsel een lineaire relatie op log-log schaal tussen de vermoeiingslevensduur en de PV gemeten in verschillende vermoeiingsproeven, 4PB en CY-ITT. Dit betekent dat het uiteindelijk mogelijk moet zijn om de gerealiseerde vermoeiingseigenschappen van een asfaltmengsel in een werk aan de hand van vermoeiingsonderzoek op boorkernen direct te beoordelen ten opzichte van de vermoeiingseigenschappen die in het typeonderzoek zijn vastgesteld. In de bijlage van dit document is beschreven welke informatie nodig is van het oorspronkelijke typeonderzoek om de analyse uit te kunnen voeren. De resultaten van een succesvol verificatieonderzoek, ingezet door Boskalis Nederland, met deze methode zijn inmiddels beschikbaar. Na afronding van dit onderzoek is de beoogde analyseprocedure door Q-Consult (Jan Telman) wiskundig en statistisch beoordeeld en vastgesteld.

## VOORBEELD RESULTAAT FUNCTIONEEL VERIFIËREN

### Mengselsamenstelling

Tabel 2: Functionele verificatie van mengselsamenstelling

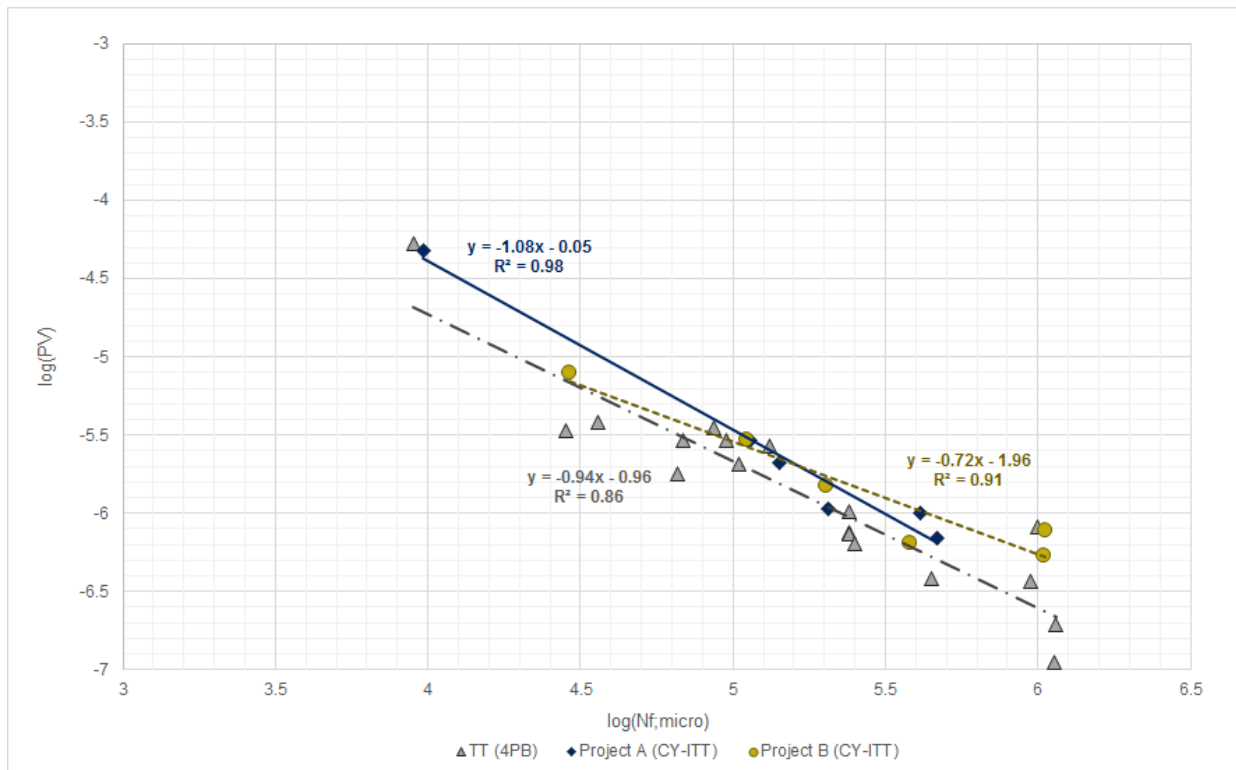
TYPE TEST				FUNCTIONEEL VERIFIËREN			
DOELSAMENSTELLING		SAMENSTELLING NA EXTRACTIE		SAMENSTELLING PROJECT A		SAMENSTELLING PROJECT B	
Zeef	Door zeef	Zeef	Door zeef	Zeef	Door zeef	Zeef	Door zeef
C31.5	100.0	C31.5	100.0	C31.5	100.0	C31.5	100.0
C22.4	98.0	C22.4	100.0	C22.4	100.0	C22.4	99.4
C16		C16	93.3	C16	92.1	C16	95.1
C11.2	80.0	C11.2	83.7	C11.2	81.0	C11.2	81.8
C8		C8	68.1	C8	68.5	C8	54.4
C5.6		C5.6	57.4	C5.6	58.8	C5.6	59.7
2mm	43.0	2mm	41.5	2mm	44.9	2mm	45.6
0.5mm		0.5mm	29.0	0.5mm	30.4	0.5mm	31.9
0.180mm		0.180mm	13.8	0.180mm	13.9	0.180mm	15.2
0.063mm	6.4	0.063mm	6.7	0.063mm	6.5	0.063mm	7.1
Bitumen 'in'	4.3	Bitumen 'in'	4.3	Bitumen 'in'	5.3	Bitumen 'in'	4.4

**Dichtheid**
*Tabel 3: Functionele verificatie van dichtheid*

EIGENSCHAP	TYPE TEST	FUNCTIONEEL VERIFIËREN	
		PROJECT A	PROJECT B
Streefdichtheid [kg/m <sup>3</sup> ]	2368	2368	2368
Dichtheid proefstuk [kg/m <sup>3</sup> ]	2377	2353	2355
Dichtheid mengsel [kg/m <sup>3</sup> ]	2470	2475	2475
Holle ruimte [%v/v]	3.8	5.0	4.1

**Functionele eigenschappen**
*Tabel 4: Functionele verificatie van functionele eigenschappen*

EIGENSCHAP	TYPE TEST	FUNCTIONEEL VERIFIËREN	
		PROJECT A	PROJECT B
ITS retained [MPa]	2.00	1.93	2.01
Triaxiaal f <sub>c</sub> [μm/m/N]	0.23	0.25	0.18
4PB S E <sub>mix</sub> @8Hz&20°C [MPa]	7525		
CY-ITT S E <sub>mix</sub> @8Hz&20°C [MPa]		10993	11277
<b>VERMOEIINGSANALYSE RDEC</b>			
4PB F logPV-logN <sub>F,MICRO</sub> relatie	-0.96 – 0.94x		
R <sup>2</sup>	0.86		
CY-ITT F logPV-logN <sub>F,MICRO</sub> relatie		-0.05 – 1.08x	-1.96 – 0.72x
R <sup>2</sup>		0.98	0.91
<b>VERMOEIINGSANALYSE CONVENTIONEEL</b>			
4PB F N = k <sub>1</sub> · ε <sup>k<sub>2</sub></sup>	N = 10 <sup>17.02</sup> · ε <sup>-5.29</sup>		
R <sup>2</sup>	0.74		
CY-ITT F N <sub>f</sub> = C <sub>1</sub> · ε <sub>EL,INI</sub> <sup>C<sub>2</sub></sup>		N <sub>f</sub> = 10 <sup>11.78</sup> · ε <sub>EL,INI</sub> <sup>-4.75</sup>	N <sub>f</sub> = 10 <sup>13.30</sup> · ε <sub>EL,INI</sub> <sup>-3.73</sup>
R <sup>2</sup>		0.87	0.92



Figuur 1: Vermoeingsrelaties TT, Project A en Project B o.b.v. RDEC

### Discussie voorbeeld Functioneel Verifiëren

Uit de gerapporteerde resultaten kan worden afgeleid dat het functioneel verifiëren van verwerkt asfalt ten opzichte van de functionele eigenschappen van ditzelfde mengsel bepaald in het typeonderzoek mogelijk is. Uit de onderzoeksresultaten volgt dat het mogelijk is asfalt te realiseren met functionele eigenschappen gelijkwaardig aan die bepaald in de type test van het betreffende mengsel, mits wordt voldaan aan de voorwaarden geformuleerd op basis van het NL-LAB onderzoek:

- |                                 |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| 1. mengselsamenstelling TT      | = | mengselsamenstelling werk, <i>én</i>      |
| 2. eigenschappen bouwstoffen TT | = | eigenschappen bouwstoffen werk, <i>én</i> |
| 3. dichtheid TT                 | = | dichtheid werk                            |

Bovendien is aangetoond dat de empirische eigenschappen alleen niet toereikend zijn om de feitelijke kwaliteit van een gerealiseerde asfaltverharding te beoordelen. Een overschrijding van de gestelde, mengspecifieke tolerantiebanden om deze empirische eigenschappen leidt niet vanzelfsprekend tot minder wenselijke functionele eigenschappen en vice versa. In dit specifieke geval is aangetoond dat een overschrijding van het gewenste bitumengehalte, buiten de geldende tolerantiebanden, weldegelijk meetbare invloed heeft op de functionele eigenschappen, maar dat deze invloed niet altijd significant hoeft te zijn in relatie tot de daadwerkelijk gerealiseerde kwaliteit van een verharding.

In tegenstelling tot de overige bepaalde eigenschappen, is de weerstand tegen vermoeiing uit 4PB en CY-ITT normaliter niet direct te vergelijken. De analyse op basis van de RDEC, een rekenkundige bewerking van de gedissipeerde energie, maakt een directe vergelijking wel mogelijk. Uit de grafiek is af te leiden dat de weerstand tegen vermoeiing van het verwerkte asfalt wenselijker is dan die gemeten in de type test. Dit betekent dat de werkelijke vermoeiingslevensduur van de verharding in beide voorbeeldprojecten altijd minstens gelijk óf langer zal zijn dan de ontwerplevensduur.

**Bijlage: benodigde informatie vierpuntsbuigproef uit typeonderzoek voor S&C-analyse**

Hieronder een overzicht van de benodigde bestanden van de v voor het uitvoeren van een RDEC analyse voor FV.

**RDEC Analyse FV**

- 4PB F (18 balkjes)
  - o Zwick output bestand
  - o De 4PB proeven **moeten tot breuk** zijn uitgevoerd
  - o Het komt voor dat in de outputsheet niet de werkelijke afmetingen van de beproefde balken worden opgenomen, maar de standaardmaten (50x50x450) aan elk balkje worden toegekend. Als dat het geval is dan heb ik ook een overzicht nodig van de balkafmetingen
  
- CY-ITT F (4 cilinders uit werk én als ook CY-ITT in TT minstens 8)
  - o Zwick output bestand
  - o Het komt voor dat in de outputsheet niet de werkelijke afmetingen van de beproefde cilinders worden opgenomen, maar de standaardmaten aan elk proefstuk worden toegekend. Als dat het geval is dan heb ik ook een overzicht nodig van de afmetingen