

WATERGEVOELIGHEID VAN ASFALTMENGSELS AAN DE HAND VAN DE SPLIJTTREKSTERKTE – VALIDATIE PROEFMETHODE

**Dr. STEFAN VANSTEENKISTE, Dr. ir. JOELLE DE VISSCHER,
Dr. FREDERIK VERVAECKE, Dr. ANN VANELSTRAETE**

ocw

Ing. RENE REYNAERT

Afdeling Wegengbouwkunde, Agentschap Wegen en Verkeer, MOW

De duurzaamheid van een asfaltmengsel wordt in een belangrijke mate bepaald door de watergevoeligheid. De Europese standaard EN 12697-12 in combinatie met EN 12697-23, reikt op dit ogenblik een proefmethode aan voor de bepaling van de watergevoeligheid van een bitumineus mengsel. Deze proef werd recent ingevoerd in het Standaardbestek 250 (versie 2.1) en is voorzien voor de nieuwe versies van de RW99 en TB2000 (voorstudie). Met het oog op de bruikbaarheid en/of inzetbaarheid van deze proef is het belangrijk de proefresultaten te valideren aan de hand van in situ waarnemingen. In deze context werd dan ook in 2005 een gezamenlijke duurzaamheidstudie opgestart door het OCW in samenwerking met MOW. In deze bijdrage worden de resultaten van deze validatiestudie toegelicht en dit met betrekking tot SMA-mengsels.

La durabilité d'un enrobé est en grande partie déterminée par sa sensibilité à l'eau. La norme européenne EN 12697-12 en combinaison avec la EN 12697-23, donne à l'heure actuelle une méthode d'essai pour la détermination de la sensibilité à l'eau d'un mélange bitumineux. Cet essai a récemment été introduit dans le Standaardbestek 250 (version 2.1) et est également prévu dans les nouvelles versions du RW99 et du CCT2000, dans la phase d'étude préliminaire. Pour s'assurer de l'efficacité et/ou de la pertinence de cet essai il est important de valider les résultats d'essai à l'aide d'observations in situ. Dans ce cadre, une étude commune de durabilité a été lancée en 2005 par le CRR en collaboration avec MOW. Cette contribution présente les résultats de cette étude de validation par rapports à des mélanges SMA.

1. Inleiding

De duurzaamheid van een bitumineuze wegverharding is een erg ruim begrip, doch veelal wordt aan de hand van dit concept geduïd op het behoud van prestatiekenmerken van asfaltmengsels in functie van de tijd. Alhoewel tal van factoren bijdragen tot de duurzaamheid van een asfaltmengsel, kan de watergevoeligheid als één van de voornaamste karakteristieken voor de duurzaamheid worden geïdentificeerd (ref.1-4). Immers, onvoldoende adhesieve sterkte in een mengsel, resulteert al snel tot het bezwijken van een verharding onder invloed van de verkeersbelasting (vb. rafeling). Adhesie is niet

alleen functie van de materiaaleigenschappen, doch varieert eveneens in de tijd onder de invloed van externe omstandigheden. Water is hierbij een cruciale factor, die de interactie tussen het bindmiddel en het aggregaat kan doorbreken en bijgevolg een belangrijke aanzet kan vormen voor het falen van een asfaltmengsel.

De Europese norm NBN EN 12697-12 "Bitumineuze mengsels – Beproevingmethoden voor warm bereid asfalt - Deel 12: Bepaling van de watergevoeligheid van bitumineuze proefstukken", in combinatie met NBN EN 12697-23 "Bitumineuze mengsels – Beproevingmethoden voor warm bereid asfalt - Deel 23: Bepaling van de splijttreksterkte van bitumineuze proefstukken", reikt op dit ogenblik een proefmethode aan voor de bepaling van de watergevoeligheid van een bitumineus mengsel. De evaluatie van de watergevoeligheid gebeurt met de indirecte treksterkte proef ('Indirect Tensile Strength', ITS) of splijtproef, uitgevoerd vóór en ná conditionering van de proefmonsters in water, waarbij de verhouding van de treksterktes vóór en ná conditionering (ITSR: Indirect Tensile Strength Ratio) van cilindrische asfaltmonsters een maat is voor de watergevoeligheid. De methode biedt aldus de kans om te peilen naar de mogelijke impact van materiaalkeuzen en/of mengselontwerp op de watergevoeligheid van asfaltmengsels.

2. Opzet van de validatiestudie

Recentelijk werd, door de afdeling Wegenbouwkunde, departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) van het Agentschap Wegen en Verkeer, geopteerd om deze prestatiegerichte proef eveneens op te nemen in het nieuwe standaardbestek 250 (versie 2.1, 2006). Op dit ogenblik wordt voor toplagen, en dit onafhankelijk van de bouwklasse, een ITSR-waarde $\geq 70\%$ gespecificeerd. Daar voor onderlagen de watergevoeligheid als minder kritisch kan worden beschouwd, wordt een ITSR-waarde $\geq 60\%$ geëist. De proef is eveneens voorzien voor de nieuwe versies van de bestekken RW99 en TB2000 om in de fase van de voorstudie te peilen naar de duurzaamheid van asfaltmengsels.

Het hoeft geen betoog dat met het oog op de bruikbaarheid en/of inzetbaarheid van de ITS-proef (definiëren van bestekeisen) voor de evaluatie van het risico op rafeling in steenskeletmengsels – en niet alleen voor de watergevoeligheid - het onontbeerlijk is de proefresultaten te valideren aan de hand van *in situ* waarnemingen. In deze context werd dan ook in 2005 een gezamenlijke duurzaamheidstudie opgestart door het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) in samenwerking met het agentschap Wegen en Verkeer (AWV) - afdeling Wegenbouwkunde van de Vlaamse overheid. In deze validatiestudie wordt aan de hand van een opvolgingscampagne van werven aandacht besteed aan de correlatie tussen de *in situ* performantie van SMA-mengsels, meer bepaald de weerstand tegen rafeling, en de overeenkomstige meetresultaten in de watergevoeligheidsproef.

Tijdens de uitvoering van de validatiestudie wordt steeds aandacht besteed aan de volgende facetten:

- Vraag aan de aannemer om bij de productie van welbepaalde geregistreerde SMA-mengsels een reeks (2 x 3) supplementaire proefstukken aan te maken (dmv Marshall verdichting, 2 x 50 slagen) om vervolgens te worden beproefd volgens NBN EN 12697-12.
- Aansluitend wordt van dezelfde SMA-mengsels de *in situ* performantie gevalideerd aan de hand van boorkernen genomen op de precieze lokalisaties of secties van de verharding overeenstemmend met de materialen van de staalname tijdens de productie. In deze context wordt aandacht besteed aan de volgende punten:
 - De lokalisatie en documentatie (fotomateriaal, visuele inspectie,...) van de beproefde secties (cfr. boorkernen).
 - De bepaling van de watergevoeligheid van de SMA-mengsels aan de hand van de boorkernen
 - Het bepalen van het percentage holle ruimte van de beproefde monsters.
 - De bepaling van het bitumengehalte van de beproefde monsters.
 - Een jaarlijkse opvolging van de uitgevoerde werven.

3. Resultaten en discussie

Tot op heden omvat de validatiestudie een 14-tal werven, waarbij een viertal werven uit meerdere proefsecties bestaan. Dit laat toe de mogelijke impact van de mengselsamenstelling (vb. aard van de vulstof) en/of de invloed van parameters inherent aan de realisatie van een werf (vb. verdichting) te bestuderen.

In deze context verdienen de werven op de N132 te Merksplas gerealiseerd in oktober 2007 en op de R25 te Aarschot in september 2008 bijzondere aandacht. Bij de werf op de N132 werden in parallel (respectievelijk linker- en rechterrijstrook) twee varianten van een SMA-C2 asfaltmengsel aangebracht, die verschillen in het type toegevoegde vulstof, namelijk een type IIa en IIb. Het gebruik van deze laatste vulstof (type *Ka20*), waaraan 20 m-% kalkhydraat werd toegevoegd als adhesieverbeteraar, is recentelijk verplicht toe te passen (bestekvoorschriften SB250, versie 2.1, 2006) bij alle steenskeletmengsels. Bij de realisatie van de werf op de R25 te Aarschot werd als experiment een vulstof van het type IIa met 5% toegevoegd kalkhydraat (type *Ka5*) aangewend. Deze beide werven laten bijgevolg toe de mogelijke impact van deze met kalkhydraat gemodificeerde vulstoffen op de duurzaamheid van SMA-mengsels *in situ* te evalueren. Deze problematiek komt eveneens uitvoerig aan bod in de heropgestarte (november 2007) OCW-werkgroep 'Eigenschappen van vulstoffen'.

De werven werden gerealiseerd in de periode 2005-2008. Vanaf 2007 werden alle watergevoeligsproeven aan de hand van indirecte trekproeven uitgevoerd bij 15°C en niet langer bij 25°C zoals voorheen. Aldus wordt be antwoord aan de standaard EN 13108-20 'Bitumineuze mengsels – Materiaalspecificaties – Deel 20: Typekeuring' die een proeftemperatuur van 15°C verplicht. Door deze omschakeling in proeftemperatuur kunnen de resultaten van het onderzoek beter worden vergeleken met proefresultaten bekomen in het kader van de registratie of certificatie van asfaltmengsels.

De proefresultaten, aan de hand van zowel boorkernen afkomstig van de desbetreffende werven als Marshall proefstukken, in relatie tot de watergevoeligheid zijn gegeven in Tabel 1.

Op basis van deze proefresultaten kunnen onderstaande conclusies worden geformuleerd:

- Het overgrote aandeel van de SMA-mengsels, 16 van de 20 proefsecties, zijn gekenmerkt door een (zeer) lage watergevoeligheid of hoge ITSR-waarden ($\geq 80\%$).
- Bij een 3-tal werven werden lage ITSR-waarden ($< 80\%$) bepaald. Het betreft de werf op de E17 te Deerlijk en de werf op de E313 Hasselt – Luik (in het bijzonder de rechterrijstrook bij km 74.900 en de linkerrijstrook bij km 71.700) en de werf op de N132 (rechterrijstrook bij km 9.805). Geen enkele werf vertoont tot op heden echter enige vroegtijdige schade op basis van recente visuele inspecties (zomer 2008) behalve deze gerealiseerd op de N358 te Oostende (zie verder).
- Er wordt in het algemeen een grote invloed van de holle ruimte op het resultaat van de watergevoeligheidsproef waargenomen, waarbij zoals verwacht lage ITSR-waarden veelal kunnen worden gerelateerd tot een hoog percentage holle ruimte van de overeenkomstige proefstukken (Figuur 1).
- Hoewel het proefresultaat (ITSR-waarde = $100 \pm 16\%$) van de werf op de E17 te Gentbrugge duidt op een uitstekende performantie qua watergevoeligheid, vormt de erg grote spreiding ook hier een indicatie voor de belangrijke impact van de holle ruimte ($9,7 \pm 0,8\%$) op het proefresultaat. Immers, de meetonzekerheid, uitgedrukt in standaardafwijking, bedraagt ongeveer 5% onder herhaalbaarheidsvoorwaarden en voor het gemiddelde van twee individuele metingen (ref.5).

Locatie werf	Type SMA	HR (%)* boorkernen	Bindmiddel- gehalte (%)** boorkernen	ITSR (%) boorkernen	ITSR (%) Marshall proefstukken
E17 Deerlijk†	SMA-C6	4,9 ± 1,6	n.b.	68 ± 6	n.b.
E19 Kontich	SMA-D2	6,9 ± 0,9	6,7††	92 ± 3	92 ± 7
A2 Nieuwrode	SMA-D2	5,7 ± 0,7	7,0	87 ± 4	83 ± 2
E19 Mechelen	SMA-C2	5,3 ± 0,4	6,9	91 ± 2	93 ± 2
N760 Meeuwen	SMA-C2	4,1 ± 0,8	6,6	94 ± 8	n.b.
N76 Gruitrode	SMA-C2	2,3 ± 0,8	6,9	88 ± 3	97 ± 2
N358 Oostende	SMA-C1	5,3 ± 2,8	7,4	82 ± 18	n.b.
R23 Leuven***	SMA-C2	0,9 ± 0,2	6,6	91 ± 2	100 ± 6
R8 Kortrijk***	SMA-B2	4,6 ± 1,9	6,4	100 ± 4	97 ± 5
E17 Gentbrugge***	SMA-C2	9,7 ± 0,8	6,6	100 ± 16	n.b.
R25 Aarschot***					
Vulstof Ila	SMA-C2	6,1 ± 0,3	6,6	90 ± 3	86 ± 5
Vulstof Ila + 5% Ca(OH) ₂	SMA-C2	2,6 ± 0,4	6,7	88 ± 2	92 ± 4
N132 Merksplas***					
RV km 9.700 vulstof Ila	SMA-C2	3,5 ± 0,3	6,4	90 ± 5	96 ± 4
RV km 9.805 vulstof Ila	SMA-C2	6,0 ± 0,3	6,4	78 ± 1	96 ± 4
LV km 9.700 vulstof Iib	SMA-C2	8,3 ± 0,4	6,4	87 ± 2	100 ± 3
E313 Hasselt – Luik***					
RV km 74.900	SMA-C2	5,1 ± 1,0	7,2	72 ± 7	n.b.
LV km 71.700	SMA-C2	9,0 ± 1,2	6,8	79 ± 12	n.b.
LV km 74.900	SMA-C2	2,6 ± 0,2	7,5	96 ± 4	n.b.
E40 Haasrode***					
RV	SMA-C2	2,3 ± 0,3	7,2	101 ± 5	n.b.
LV	SMA-C2	2,2 ± 0,3	6,8	94 ± 5	n.b.

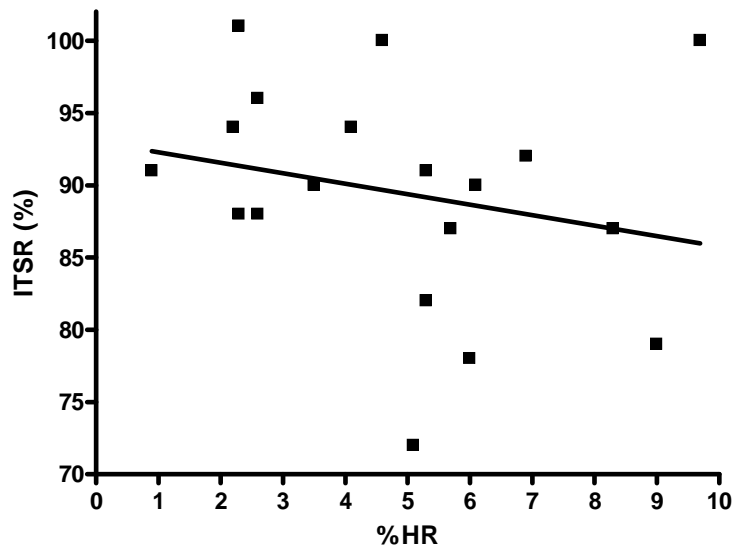
Tabel 1: Overzicht proefresultaten m.b.t de *in situ* validatie van de watergevoeligheidsproef.

*ahv hydrostatische wegingen (NBN EN 12697-6 procedure B), gemiddelde van 6 kernen,
†ov de droge aggregaten, gemiddelde van 2 kernen, *ITS-proeven uitgevoerd bij 15°C, †
data bepaald door MOW ahv 56 kernen; ††waarde bepaald ahv van bulkmateriaal (3
monsters). RV: rechterrijsstrook; LV: linkerrijsstrook, n.b.: niet bepaald.

- De variaties in zowel de holle ruimte als het bindmiddelgehalte kunnen voor de werf op de E313 als bijzonder groot worden beschouwd. Dit komt tot uiting in de enerzijds belangrijke spreiding in de proefresultaten en anderzijds in de lage ITSR-waarden overeenstemmend de hoge holle ruimte van de beproefde boorkernen (ITSR-waarde = $79 \pm 12\%$ bij HR = $9,0 \pm 1,2\%$).
- Bij de realisatie van de proefwerf op de N132 kunnen in de referentiezone (SMA-C2 opgebouwd met vulstof type IIa) twee secties worden onderscheiden met een sterk verschillend percentage aan holle ruimte van de boorkernen: $6,0 \pm 0,3\%$ ten opzichte van $3,5 \pm 0,3\%$ en dit ten gevolge van een verschillende temperatuur van het SMA-C2 mengsel bij verdichting. Hierbij resulteert de toename van de holle ruimte van de boorkernen met 2,5% in een daling van de ITSR-waarde van 12%: $90 \pm 5\% \rightarrow 78 \pm 1\%$.
- Slechts bij één werf (N358 te Oostende) werd een vroegtijdig falen (rafeling binnen de 6 maand na realisatie) van de SMA-verharding vastgesteld. Dit was te wijten aan de heterogene spreiding of overmatig gebruik van cellulosevezels. De erg grote spreiding van het proefresultaat (ITSR-waarde $82 \pm 18\%$) reflecteert deze problematiek *in situ*.
- Het aanwenden van een vulstof van het type IIb (20% toegevoegd kalkhydraat) resulteert enerzijds in een hoger percentage holle ruimte, doch anderzijds ook in een lagere watergevoeligheid van het SMA-C2 asfaltmengsel (de werven op de N132 te Merkplas en de E17 te Gentbrugge). De ITSR-waarde overeenstemmend de boorkernen afkomstig van de werf E17 te Gentbrugge vertoont echter een grote spreiding: ITSR-waarde = $100 \pm 16\%$. Het hogere percentage holle ruimte is, bij de aanleg van de proefsectie op de N132, gerelateerd tot een lagere verwerkbaarheid van het SMA-mengsel ten gevolge van het groter verstijvende vermogen van vulstoffen gemodificeerd met kalkhydraat. Dit effect werd in het laboratorium bevestigd aan de hand van de gyratorproef uitgevoerd volgens NBN EN 12697-31 en komt het meest tot uiting bij de vulstof Ka20 (Tabel 2).
- Een positief effect op de watergevoeligheid van de modificatie van een vulstof van het type IIa met slechts 5% toegevoegd kalkhydraat kon tijdens de *in situ* validatiestudie niet worden aangetoond (proefwerf op de R25 te Aarschot). Deze conclusie kan echter niet worden veralgemeend. In het kader van de OCW-werkgroep BAC-2 'Eigenschappen van vulstoffen' kon bij het aanwenden van een vulstof type Ka5 soms wel en soms niet een positief effect op de watergevoeligheid van een SMA-mengsel worden aangetoond. Het is tevens belangrijk op te merken dat bij de productie van een vulstof van het type Ka5 steeds 5% kalkhydraat wordt toegevoegd en dit onafhankelijk van een beperkte hoeveelheid kalkhydraat afkomstig van de overige basiscomponenten van dit type vulstof. Dit resulteert in een hoger percentage kalkhydraat dan 5% in dit type vulstof (vb. 9,1% voor de vulstof aangewend bij de proefwerf op de R25 op basis van metingen uitgevoerd op het OCW).
- Proefresultaten aan de hand van proefstukken aangemaakt door slagverdichting (Marshall specimens) zijn consistent met deze bekomen aan de hand van boorkernen. De data bekomen aan de hand van Marshall proefstukken reflecteren uiteraard niet de mogelijke impact van parameters gerelateerd tot de aanleg op de weg (bv. verdichting).

Vulstof type	HR (%) #100	HR (%) #120
Ila	7,1 ± 0,6	6,6 ± 0,6
Ka5	7,8 ± 0,6	7,2 ± 0,5
Ka20	8,5 ± 0,2	8,0 ± 0,3

Tabel 2: Impact van de vulstof op de verwerkbaarheid van SMA-mengsels aan de hand van de gyratorproef (mengsels overeenstemmend proefsecties op N132 en R25).



Figuur 1: Watergevoeligheid (ITSR-waarden) van SMA-proefsecties in functie van holle ruimte boorkernen.

Op basis van bovenstaande *in situ* validatiestudie bleek de grote impact van de holle ruimte op de watergevoeligheid van SMA-mengsels. Om meer inzicht te verkrijgen omtrent de invloed van de holle ruimte werd, in parallel met de opvolgingscampagne van SMA-werven, in het laboratorium de watergevoeligheid bepaald van een SMA-mengsel, waarbij de verdichtingsgraad van de proefstukken werd gevarieerd. Hierbij werden de benodigde proefstukken aangemaakt door gyratorverdichting, waarbij het aantal gyraties respectievelijk 25 of 150 bedroeg. Tabel 3 geeft een overzicht van de bekomen resultaten.

	Voor conditionering		Na conditionering			
# gyraties	<i>ITS</i> (MPa)	<i>HR*</i> (%)	<i>ITS</i> (MPa)	<i>HR*</i> (%)	<i>ITSR</i> (%)	<i>Zwelling</i> (v-%)
#25	0,35 ± 0,05	9,0 ± 0,8	0,29 ± 0,01	8,6 ± 0,2	85 ± 7	0,7 ± 0,2
#150	0,54 ± 0,06	4,6 ± 0,4	0,50 ± 0,04	4,7 ± 0,5	93 ± 7	0,3 ± 0,4

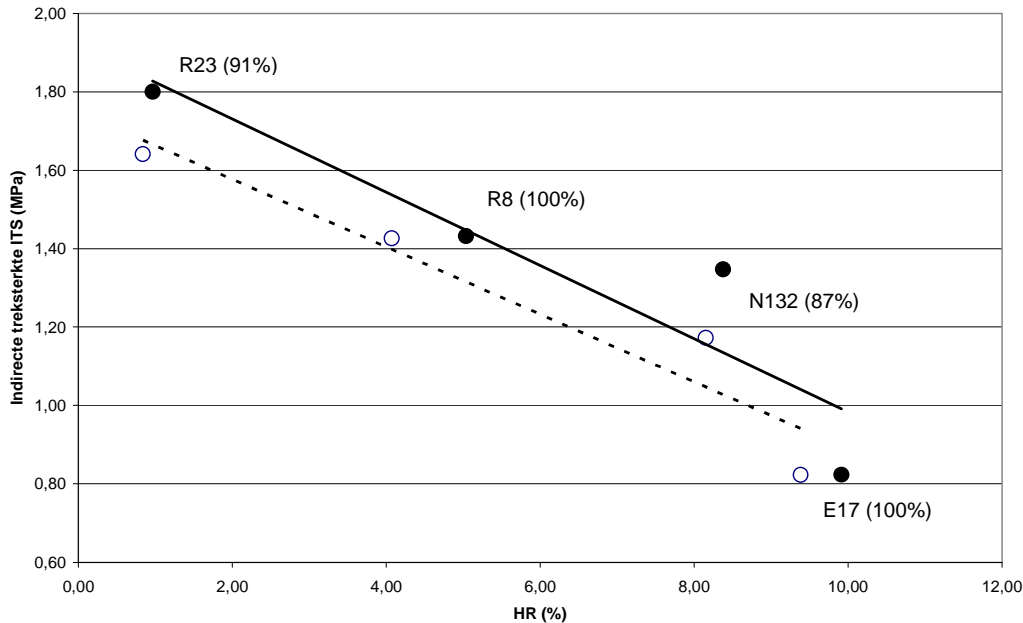
Tabel 3: Overzicht proefresultaten mbt de impact van het % holle ruimte op de watergevoeligheid van een SMA-mengsel. Proefstukken aangemaakt dmv gyratorverdichting.

*ahv hydrostatische wegingen (NBN EN 12697-6 procedure B); indirecte trekproeven uitgevoerd bij 25°C.

Bovenstaande resultaten bevestigen de invloed van de holle ruimte op de watergevoeligheid. Een lichte stijging van de ITSR-waarde van $85 \pm 7\%$ naar $93 \pm 7\%$ werd bepaald overeenstemmend de daling van het %HR van de proefstukken. Er kan bovendien worden opgemerkt dat, niettegenstaande de hoge holle ruimte van de proefstukken bij 25 gyraties, er nog steeds een ITSR-waarde van 85% werd bepaald.

Vervolgens werd een meer diepgaande analyse van de proefresultaten in bovenstaande validatiestudie uitgevoerd. Hierbij wordt niet alleen een interpretatie van de resultaten in functie van de ITSR-waarden beoogd, doch eveneens in functie van de overige beschikbare parameters zoals: de absolute indirecte treksterkte, het percentage holle ruimte van de proefstukken, het bindmiddelgehalte en de materiaalkeuze van de desbetreffende SMA asfaltmengsels.

De analyse gaf aan dat enkel wanneer het een identieke mengselsamenstelling betrof waarbij dezelfde materialen werden aangewend er goede lineaire correlaties kunnen worden vastgesteld tussen de absolute waarde van de indirecte treksterktes en het percentage holle ruimte van de boorkernen. Dit wordt in Figuur 2 geïllustreerd aan de hand van een viertal werven waarbij een SMA-C2 mengsel werd opgebouwd uit porfier granulaten en kalksteenzand, vulstof type IIb (Ka20) en een elastomeerbitumen 50/85-50. Opmerkelijk is de grote spreiding van de holle ruimte van de boorkernen overeenkomstig dit SMA-C2 mengsel: $0,9 \pm 0,2\% \rightarrow 9,7 \pm 0,8\%$.



Figuur 2: Lineaire correlaties tussen indirecte treksterkte (bij 15°C) en percentage holle ruimte van boorkernen en dit zowel vóór (-○-) als na (-●-) conditionering in water. Ter aanvulling wordt telkens de ITSR-waarde (%) aangegeven.

4. Algemene conclusies

Op basis van bovenstaand onderzoek kunnen, niettegenstaande de *in situ* validatiestudie voor welbepaalde werven slechts vrij recent werd opgestart, toch reeds de volgende besluiten worden naar voor gebracht:

- De *in situ* validatiestudie van de watergevoelighedsproef toont aan dat SMA-mengsels in het algemeen zijn gekenmerkt door een lage watergevoeligheid (ITSR-waarde > 85%). Dit proefresultaat is consistent met de goede performantie die werd gevonden *in situ*. Dit wijst er op dat de eis van 70% voor watergevoeligheid in het geval van SMA moet worden opgetrokken, wil men de proef zinvol maken. Het optrekken van deze grens naar 80% lijkt hierbij meest zinvol, gezien de grens van 90% als te strikt kan worden beschouwd met betrekking tot de meetnauwkeurigheid van de proef, die van de orde is van 5%.
- De holle ruimte van de proefstukken speelt een belangrijke rol bij de bepaling van de watergevoeligheid. Indien naar de watergevoeligheid wordt gepeild aan de hand van boorkernen, komt de mogelijke impact van de verdichting op de weg en/of de verwerkbaarheid van een asfaltmengsel eveneens tot uiting in het proefresultaat. Het is daarom belangrijk om hier bij te voorstudie mee rekening te houden. Zo lijkt het aangewezen om eerder zwak verdichte proefstukken te beproeven. Deze proefstukken kunnen bijvoorbeeld worden bekomen door gyatorverdichting en dit bij 25 gyaties. Dergelijke proefstukken simuleren dan de meer risicovolle locaties op de werf, namelijk die waarbij het asfaltmengsel minder goed werd verdicht.

- Een positief effect, bij de toevoeging van 20% kalkhydraat aan de vulstof, op de watergevoeligheid van een SMA-mengsel kon worden aangetoond. Deze modificatiegraad heeft evenwel een negatieve invloed op de verwerkbaarheid.

Het hoeft geen betoog dat de opvolgingscampagne zal worden vergezet in de toekomst om de bovenstaande conclusies verder te kunnen onderbouwen.

Referenties

- [1] Bagampadde, U., Isacsson, U. and Kiggundu, B.M. "Fundamentals of Stripping in Bituminous Pavements – State-of-the-art." Research Report Trita-VT AR 03:01, Royal Institute of Technology, Stockholm 2003.
- [2] Lu, Q. and Harvey, J.T. "Field investigation of factors Associated with Moisture Damage in Asphalt Pavements." 10th International Conference on Asphalt Pavements, Quebec Canada, 2006.
- [3] Apeageyi, A.K., Buttlar, W.G. and Dempsey, B.J. "Moisture Damage Evaluation of Asphalt Mixtures using AASHTO T283 and DC(T) Fracture Test." 10th International Conference on Asphalt Pavements, Quebec Canada, 2006.
- [4] Kanitpong, K. and Bahia, H.U. "Evaluation and Correlation of Tensile Strength Ratio (TSR) and Performance of Asphalt Pavements in Wisconsin." 10th International Conference on Asphalt Pavements, Quebec Canada, 2006.
- [5] S.Vansteenkiste, J.De Visscher, F.Vervaecke, A.Vanelstraete and R.Reynaert, 'Validation of the indirect tensile strength ratio (ITSR) as a performance indicator for water sensitivity of asphalt pavements', proceedings of the 4th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 21-23 mei 2008 te Kopenhagen.