



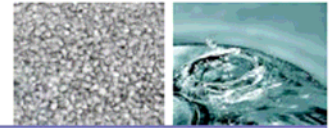
TEXAS A&M  
UNIVERSITY

Second International Workshop on  
**Moisture Induced Damage of Asphalt Mixes**  
*Characterization, Visualization and Simulation of the Fundamental Processes*



College Station - Texas

Sunday, September 16, 2007



USA



**2<sup>ND</sup> INTERNATIONAL WORKSHOP ON MOISTURE  
DAMAGE IN ASPHALT CONCRETE**  
**Texas A&M University, Texas, USA, September 17<sup>th</sup> -19<sup>th</sup> 2007**

Inhoud	
Samenvatting.....	3
Conclusie.....	4
Bijlage 1, programma .....	5
Bijlage 2, details per spreker .....	7
Maandag 17 september .....	7
Jack Youtcheff, Turner Fairbanks Institute, Federal Highway Authority, meten difussie in lab.....	7
Bob Lytton, Texas A&M over effect water op praktijkgedrag.....	7
Troy Pauli, Western Research Institute, nanotechnology voor dunne asfaltlage .....	8
Musharaf Zaman, University of Oklahoma effect of aging on surface free energy.....	9
Shin Che Huang, Western Research Institute, impact of polyphosphoric acid on long-term aging in presence of moisture .....	9
Audrey Copland, Federal Highway Authority, influence moisture on bond strength .....	10
Richard Ketchem, Univ of Texas at Austin, 3D imaging of pore structure.....	10
Dinsdag 18 september .....	10
Patrick Selvadurai, transport in porous media .....	10
Tomasz Hueckel Duke University, chemo-plastic damage in mastic moisture damage ....	11
Niki Kringos TU Delft, modelling physical-mechanical moisture damage.....	11
Silvia Caro Texas A&M modelling moisture damage in AC microstructure .....	11
Amit Bhasin Texas A&M material properties to characterize moisture damage.....	11
Woensdag 19 september .....	12
Hung-Jue Sue Texas A&M vochtdiffusie in polymeren.....	12
Bryan Vogt Arizona State University, moisture distribution en transport in polymeren .....	12

## Samenvatting

De workshop heeft zo'n 40 deelnemers en is georganiseerd door de afdeling Civiele Techniek van Texas A&M University, de grootste Civiel afdeling aan een Universiteit in de VS. Ze beschikken over een gelieerd Instituut: TTI, Texas Transportation Institute, waarmee ze ook commerciële vraagstukken op kunnen pakken.

Het is de tweede workshop op dit gebied, de eerste was november 2005 in Delft, naar aanleiding van activiteiten van de Technical Committee on Constitutive Modelling of Asphaltic Materials van ISAP (the International Society on Asphalt Pavements), die hadden geconstateerd dat waterschade zowel in de VS als in Europa speelde en dat er tot dan toe weinig lijn zat in de experimentele onderzoeken en de gebruikte modellen.

Sinds die tijd heeft het onderwerp een vlucht genomen, bij de Transportation Research Board (TRB) in januari 2007 waren er drie parallel sessies over het onderwerp. Ten opzichte van de vorige bijeenkomst was het deelnemersveld dan nu ook verbreed. Deels met groepen die "meer van hetzelfde" deden, maar ook met potentieel interessante nieuwe velden zoals mensen die zich met polymeer chemie of oppervlakte chemie bezig hielden. Deze groep kijkt dus om zich heen en ontsluit nieuwe vakgebieden.

Het onderwerp is voor RWS van belang omdat we vaak open deklagen toepassen, hierdoor kan water eenvoudig in de constructie komen en mogelijk een belangrijke rol spelen bij het relatief vroegtijdig bezwijken van die open deklagen. Voor de Amerikanen speelt een ander probleem, namelijk waterschade in dichte deklagen. Wij hebben daar nauwelijks last van, maar de dichte deklagen in de VS zijn minder dicht dan die bij ons. Hoewel de manifestatie van het probleem dus verschilt, zijn de achterliggende mechanismen gelijk en het is dus niet vreemd dat hierbij samen wordt opgetrokken.

In de VS, met name in Texas, werd al jaren gemeten aan fysische eigenschappen van stenen en bitumina. Ook de sectie wegbouwkunde van de TU heeft daar begin jaren negentig aan mee gedaan. Het bleek echter problematisch om de gemeten parameters om te zetten in sterkte indicatoren voor mengsels, waardoor de toepasbaarheid discutabel bleef. Naar aanleiding van pogingen in de ISAP commissie om de invloed van vocht in asfalt te modelleren, ontstond ook behoefte aan experimentele input, hierbij bleken de getallen uit Texas tot vreemde resultaten te leiden. Dit heeft geleid tot samenwerking van verschillende groepen om enerzijds te verklaren waarom de fysische metingen en modellen niet met elkaar overeenkomen en anderzijds om andere metingen te doen als onafhankelijke verificatie.

Op dit moment is het model van de TU Delft constructie mechanica het enige dat grotendeels gevalideerd is. Dit model is ook gebruikt voor het analyseren van proeven van het Turner Fairbanks instituut, het onderzoekslab van FHWA. Wat uit het werk van dit instituut en de TU Delft blijkt, is dat de chemisch/fysische analyses uit Texas voor niet al te verschillende mastiek-steen combinaties bruikbare indicaties van de bindingskwaliteit geven, maar dat ze er in sommige gevallen ook ver naast zitten. De absolute waarden wijken nog altijd sterk af van gemeten sterktes, dit kan liggen aan het feit dat deze analyses iets zeggen over potentiële sterktes, maar dat de daadwerkelijke waarde afhangt van de menging, verhitting en dergelijke, of het kan komen doordat het toetsen van bindingen per definitie een probleem oplevert, omdat je geen materiaal maar een constructie beproeft. Dit zal duidelijk worden naarmate ook de eigenschappen van de mastiek nader worden onderzocht (als de verschillen hier kleiner zijn, ligt het aan de mechanische proeven, anders aan de chemisch/fysische). De resultaten van de onderzochte materialen sluiten goed aan bij de praktijkervaringen, die erop wijzen dat met name een goede vulstof met calciumhydroxide bijdraagt aan de duurzaamheid van ZOAB. Deze direct link tussen watergevoeligheidsonderzoek en bekende rafelings-weetjes wijst erop dat waterschade een belangrijke parameter is in rafeling.

Bij de afsluitende discussie over wat er de komende drie vier jaar zal gebeuren op dit terrein, blijken alle partijen geïnteresseerd in samenwerking met de TU Delft constructie mechanica groep, deze wordt kennelijk gezien als de groep die voorop loopt. Gezien de resultaten, modellen en proeven op reële materialen, is dat ook wel terecht.

## **Conclusie**

Voor RWS is de sectie Constructie Mechanica van de TUD voorlopig de juiste gesprekspartner voor dit onderwerp, zij ontsluiten het netwerk van partijen die hiermee bezig zijn, Texas A&M en Turner Fairbanks Institute, maar ook nieuwe kennis partners als polymeer en surface chemistry deskundigen van Arizona State University, Western research Institute en de TU Delft Technische Natuurkunde voor ons.

Het onderwerp zelf blijft onverminderd van belang omdat het onderzoek naar waterschade als "goede" materialen die combinaties aanwijst die het op rafeling goed doen. Ook andere onderzoeken binnen IPG (DRI en TU Aken) wijzen erop dat de vervuiling in ZOAB op een soort "mini ZOAB" lijkt, dus geen materiaal van buiten is, maar van elders in de laag. Dit is een van de manieren waarop waterschade zich manifesteert: wegspoelen/slijten van mastiek.

## **Bijlage 1, programma**

### **Second International Workshop on Moisture Induced Damage of Asphalt Mixes Characterization, Visualization and Simulation of the Fundamental Processes**

**College Station - Texas**

**Sunday, September 16, 2007**

7:00 p.m. to 9:00 p.m. **Reception and Dinner** sponsored by  
*Chemical Lime Company (Hilton Hotel, Ballroom 1)*

**Monday, September 17, 2007**

7:30 a.m.

7:45 a.m. to 8:30 a.m.

Pick up from the Hilton Hotel

**Continental Breakfast** (meeting room)

8:30 a.m. to 9:00 a.m. Welcome and Introduction, Eyad Masad for the Organizers

9:00 a.m. to 9:45 a.m.

**Jack Youtcheff** (Federal Highway Administration)

*Update on FHWA Activities in the Realm of Moisture Damage*

9:45 a.m. to 10:30 a.m.

**Robert Lytton** (Texas A&M University)

*Effect of Moisture on Field Performance of Asphalt Surfaces*

10:30 a.m. to 10:45 a.m. **BREAK**

### **Session 1: Material and Microstructure Properties Influencing Moisture Susceptibility**

10:45 a.m. to 11:45 a.m.

**Troy Pauli** (Western Research Institute)

*Application of Nanotechnology to the Study of Asphalt Thin-Films Impacted by Moisture*

1:00 p.m. to 2:00 p.m.

**Musharaf Zaman** (University of Oklahoma)

*Effect of Aging on Surface Free Energy Characteristics of Asphalt Binders*

2:00 p.m. to 3:00 p.m.

**Shin Che Huang** (Western Research Institute)

*Impact of Polyphosphoric Acid on the Long-term Aging Characteristic of Asphalt Binder in the Presence of Moisture*

3:00 p.m. to 3:15 p.m. **BREAK**

3:15 p.m. to 4:15 p.m.

**Audrey Copeland** (Federal Highway Administration)

*Influence of Moisture on Bond Strength of Asphalt Materials*

4:15 p.m. to 5:15 p.m.

**Richard Ketchem** (The University of Texas at Austin)

*Three-dimensional imaging, visualization and characterization of pore structure in natural and man-made materials using Xray CT*

## **Tuesday, September 18, 2007**

### **Session 2: Modeling of Moisture Induced Damage in Asphalt Mixes**

8:30 a.m. to 9:30 a.m.

**Patrick Selvadurai** (McGill University)

*Computational modeling of transport phenomena in porous media*

9:30 a.m. to 10:30 a.m.

**Tomasz Hueckel** (Duke University)

*Mechanisms of Chemo-plastic Damage in Mastic Moisture Degradation in Asphalt Pavements*

10:45 a.m. to 11:45 a.m.

**Niki Kringos** (Delft University of Technology)

*Modeling of Combined Physical-Mechanical Moisture Induced Damage in Asphaltic Materials*

11:45 a.m. to 12:15 a.m. *Open discussion*

12:15 a.m. to 1:15 p.m. **LUNCH**

1:15 p.m. to 2:15 p.m.

**Silvia Caro** (Texas A&M University)

*Principles for Modeling Moisture Damage in Asphalt Mix Microstructure*

2:15 p.m. to 3:15 p.m.

**Amit Bhasin** (Texas A&M University)

*Material Properties to Characterize and Model Moisture Damage*

3:15 p.m. to 3:30 p.m. **BREAK**

3:30 p.m. to 4:00 p.m. *Open discussion*

4:15 p.m. to 6:00 p.m. **ACIM LAB TOUR**

## **Wednesday, September 19, 2007**

### **Session 3: Moisture Transport**

8:30 a.m. to 9:30 a.m.

**Hung-Jue Sue** (Texas A&M University)

*Moisture Diffusion Behavior in Polymers*

9:30 a.m. to 10:30 a.m.

**Bryan Vogt** (Arizona State University)

*Impact of Confined Spaces on the Moisture Distribution and Transport in Polymers*

## Bijlage 2, details per spreker

### *Maandag 17 september*

#### ***Jack Youtcheff, Turner Fairbanks Institute, Federal Highway Authority, meten difussie in lab***

Zij werken aan een meetmethode voor diffusie in bitumen en mastieken, waarbij ze gebruik maken van het verschil in elektrische capaciteit van bitumen en water. Het betreft een laag bitumen op een aluminium plaat, met water erboven in een bodemloos bekersglas dat op de bitumen aansluit dmv een rubber O-ring. Er is wat onduidelijkheid over het effect van waterdruk op het proces, speelt stroming een rol of alleen diffusie? De proef ziet er nouwoutje-touwtje uit. Indien het werkt, heeft het tot voordeel dat je op labschaal je vochttransport modellen kunt valideren ahv metingen, dat is een stap dichterbij dan alleen eigenschappen bepalen en ahv theoretische modellen de staat bepalen. Je weet dan de vochtconditie van proefstukken in mechanische proeven, zodat die zaken 1-op-1 gekoppeld kunnen worden. Speelt dus een rol in modelontwikkeling. Met de modellen ga je vervolgens voorspellen voor de praktijk.

Een vraag betrof of er zwellen optrad, dit was nog niet gemeten, maar er waren visuele indicaties dat dit inderdaad het geval was. Ook het feit dat er in de proeven geen plateau gevonden wordt, dus de capaciteit blijft toenemen (geen verzadigingsnivo) wat er op wijst dat wat er ook gebeurt, het niet alleen diffusie is. Probleem bij dit soort metingen is dat een materiaal tgv indringing van andere materialen dmv (chemische)reacties een nieuw soort van gelaagdheid kan ontwikkelen op zeer fijne (molecuul) schaal. Je zou hiervoor naar bv coating- en verfindustrie moeten kijken.

Praktisch gezien zit je bij dit soort proeven met het waterdruk vs kruipgedrag van bitumen spanningsveld. Mogelijk kun je dat aanpakken door te werken met van water verzadigde lucht?

#### ***Bob Lytton, Texas A&M over effect water op praktijkgedrag.***

Hij presenteert beelden van ground penetrating raar (GPR) om aan te tonen dat er (zelfs in Texas..) in asfaltlagen water aanwezig kan zijn. De theorie is dat door dit water onthechting tussen steen en mastiek veroorzaakt en, doordat het tgv verkeer met hogesnelheid wordt "weg geperst" krijg je als het ware hoge druk reiniging waardoor de onthechte bitumen wordt weggeschuurd, met als gevolg kale stenen op natte plaatsen in het asfalt. In de VS gebeurt dit in dicht asfalt (HR ca 8 %), maar ook in ZOAB "botsen" water stralen tegen stenen. Interessant om te kijken hoe dit past in het model van de TUD-constructie mechanica en de resultaten van DRI en TU Aken.

Een uitgebreid overzicht van grond en de daar heersende relatieve vochtigheid wordt gepresenteerd. Claim is dat zelfs in Arizona (een van de warmste en droogste delen van de VS) dit tussen 98-99,9 % relatieve vochtigheid is. Punt is dat dit leidt tot optrekkend vocht uit de ondergrond naar de asfaltlagen. In hoeverre de US situatie op dit punt vergelijkbaar is met Nederland (mn snelwegen: aangelegd op zandlichamen hoog >1 m, boven de grondwaterstand) is de vraag. Voor locae en provinciale wegen speelt dit meer. Roept wel een vraag op irt klimaatverandering: hoeveel zal de waterstand veranderen en geeft dit aanleiding tot dit soort problemen?

Er worden kernen getoond met aanzienlijke schade op de grens tussen top en onderlaag. Op zich logisch, de grenslaag is minder doorlatend, water kan zich daar op hopen met alle gevolgen vandien. In dit geval blijkt echter nog iets anders te spelen, want de onderlaag is eerst als tijdelijke deklaag gebruikt en was al nat toen hij werd overlaagd, er zat dus al vocht gevangen in de constructie. Een belangrijk aandachtspunt bij overlagingen en uitvoering (als het regent bij uitvoering, sluit je water op in je constructie. Dit is een uitvoeringparameter die je moet vastleggen, of beter nog, uitsluiten.

Er kwam een vraag over “waar het weggesleten asfalt blijft”, theorie was dat dit door poriedruk naar boven wordt gebracht en dat sommige vet-slaan effecten feitelijk dit soort zaken betreft. Ik heb het micro-ZOAB verhaal van IPG vermeld voor ZOAB.

### ***Troy Pauli, Western Research Institute, nanotechnology voor dunne asfaltlage***

Troy geeft een afleiding van de Gibbs free energy (de energy benodigd om een verschuiving in een wrijvingsloos membraan te verkrijgen, een toepassing van Newtons ideale vloeistof theorie) op grond van thermodynamica. Boeiend, maar erg inhoudelijk.

Op grond van deze theorie “bouwt” hij moleculen op, in theorie, me toenemende aantallen C-atomen. De surface free energy neemt toe met het aantal atomen in een keten, orde grootte water is 60 [erg/cm<sup>2</sup>] je ali-cyclische ketens maakt ? krijg je een sprong in energy nveau en ook weer als je hier 2D sheets mee maakt. Met ketens kom je rond de energie van water, met sheets erboven. Dit zijn moleculen die in de literatuur genoemd worden als onderdeel van asfalt. Metingen op bitumina bevestigen deze energie nivo;s.

Volgende stap is theoretische bitumen moleculen bouwen en, aangezien bitumen een range aan moleculen evat, p zoek gaan naar een parameter die de mix goed karakteriseert. Uitgangspunt is de molecuul verdelingscurve (molecular distribution).

Er zijn proeven gedaan met waterdruppels op bitumen, door nieuwe apparatuur was het gedrag van de druppel in de tijd te volgen en hierbij blijkt de waterdruppel “in” he bitumen oppervlak te “zakken” zgn “lensing”. Een evenwichtseffect tussen Archimedes drijfvermogen (dichtheid water is gelijk aan bitumen), het zakt tot halverwege. Als je zout in het water doet, zakt het er dieper in (combi evenwicht en capillaire werking). Waterdruppels die in de bitumen worden aangebracht, drijven op tot ze weer half ingebed zijn.

Ze gebruiken spin casting (snel ronddraaiende platen met een druppel bitumen erop) en kunnen hiermee enorm uniforme laagjes van een ca 100 micrometer dikte maken (variatie in tential nanometers). Door de spinsnelheid te vergroten, krijg je instabiliteit en die kun je weer gebruiken om je interface tension voor de materialen te bepalen. Bij spinnen heb je te maken met de balans tussen de cohesieve (neiging bitumen om aan de glasplaat te plakken) en cohesieve (neiging bitumen om bijeen te blijven), bij veroudering neemt cohesieve sterkte toe tov adhesieve, dit zie je terug in spinning effect.

Enorm sterke microscopie brengt ook topografie stenen in beeld, waarbij bv graniet uit plateaus ipv scherpe bergen en dalen blijkt te bestaan, dat verklaard waarom de hechting minder is, want bitumen wordt als een film over dit oppervlak gelegd en hard uit in meer of mindere “verankering”.

Atomic Force Microscopy wordt ingezet om ook bitumen in detail te bekijken. Dit geeft oa inzicht in de verschillen met olie-en, die tgv raffinage veel homogener zijn dan bitumina, waarbij je op elk nivo dat je bekijkt fase-scheidingen ziet door de verschillende fasen die aanwezig zijn, het uiteindelijke gedrag is het gevolg van de menging en verhoudingen en door de vele componenten is daar veel variatie in. Dat betekent ook dat, hoe fantastisch de technieken ook zijn, het nog een hele klus is om daarvan naar toepassingen te komen. Deze technieken lenen zich voor het verkrijgen van inzicht, dat inzicht gebruik je om tot de belangrijkste variabelen te komen en die benut je om toepassingen op te stellen.

Een van de paden die WRI hiervoor volgt, is het bekijken en beoordelen van verschillende crudes, omdat bekend is dat sommige geschikter zijn voor de productie van bitumen dan anderen. Ze zien bij het mengen van verschillende crude-bitumina met polymeren verschil in homogeniteit, maar of en hoe dit gekoppeld is aan gedrag is nog niet duidelijk. De veronderstelling lijkt te zijn dat de oppervlakte textuur van de interfaces/materialen een relatie hebben met de oppervlakte eigenschappen, zoals watergevoeligheid. Een beetje in lijn van nano-technologieën als self-cleaning materials, waarbij nano “naaldjes” op een oppervlak ervoor zorgen dat water het onderliggende vlak niet bereikt, en als ronde druppels worden afgevoerd waardoor het oppervlak schoon blijft.



***Musharaf Zaman, University of Oklahoma effect of aging on surface free energy***

Gepresenteerd idee is dat aging net als temperatuurverlaging en tijd tot meer ordening leidt, terwijl water inwerking net als temperatuurverhoging tot afname in ordening leidt. Ben niet overtuigd, omdat temperatuuffect reversibel blijkt, van aging en waterschade is dit (nog?) niet gebleken.

Hij stelt dat surface free energy bestaat uit een polaire en non-polar part (gebruikelijke decompositie), de polaire component heet met zuur-base componenten te maken. Bitumen is zuur, dus de potentiële hechting met stenen is van mindere kwaliteit naar mate de steen zuurder is. Dit is aangetoond in fase 1 van het waterschade project dat TUD constructie mechanica voor DWW heeft gedaan (DWW-2971, Fundamenteel Experimenteel en Numeriek Onderzoek naar Rafeling in ZOAB door Waterschade).

Zij hebben onderzoek gedaan naar toepassing van anti-stripping middelen (amines). Het blijkt dat deze de zuur component van het bindmiddel verlagen, op die wijze bijdragend aan een meer permanente hechting.

Verhaal voornamelijk empirisch ingestoken, gebruikmakend van bv RTFOT en PAV, zonder nadere beschouwing of dat ook daadwerkelijk de fysisch-chemische processen zijn die in veroudering een rol spelen. Dit beïnvloedt alle uitspraken over de effecten op surface free energy. De analyse is helemaal gebaseerd op bitumen, niet op mastiek, en er worden maar 2 bitumina gebruikt. Een daarvan is polymeer gemodificeerd, wat ook aanleiding geeft tot verschillen en de resultaten lastig te interpreteren maakt.

*?? Burghard lijkt ook niet echt onder de ndruk, vragen naar achtergrond van zijn twijfel!*

***Shin Che Huang, Western Research Institute, impact of polyphosphoric acid on long-term aging in presence of moisture***

De veronderstelling is dat PPA de veroudering beïnvloed en om dit vast te stellen kijken ze naar de rheologische eigenschappen. Veroudering doen ze in de PAV bij 2.1 MPa en zowel met als zonder water erbij, vervolgens kijken ze in DSR bij 60°C of je verschillen ziet. Voor onverouderd materiaal heeft de toevoeging een vermindering van de frequentiegevoeligheid tot gevolg (in de mastercurve, dus het is een vermindering van zowel de frequentie als de temperatuur gevoeligheid).

Hij geeft definities voor de interpretatie van de mastercurve uit de DSR, zoals: Steady state viscosity: 45graden lijn DSAR bij lage frequenties, is een indicatie van de gevoeligheid voor permanente vervorming.

Hij stelt uiteindelijk veroudering-mastercurves op waarbij hij de DSR data voor verschillende PAV tijdsduren shift tot een curve op stijfheid/viscositeit frequentie schaal.

Conclusie is dat de bron/type van het asfalt meer invloed heeft op de rheologie dan de toevoeging van PPA, dus er treedt geen chemische reactie op.

In het vervolg wordt gekeken naar toegevoegd effect van water in de PAV. Probleem is dat PAV gelijk gesteld wordt aan veroudering, terwijl dit zeker niet representatief is. Onder aanwezigheid van water neemt stijfheid in DSR toe, maar is dat omdat water bijdraagt aan de oxidatie of omdat vocht in het bitumen getrokken is? Of te wel: stijfheid is een materiaaleigenschap die onder andere afhangt van veroudering, maar niet alleen daarvan, als je alle variatie toeschrijft aan veroudering, ga je daaraan voorbij.

Algemene conclusie is dat PPA effect heeft, maar dat het effect afhangt van de crude. Water versnelt de veroudering, maar dat is onder verwaarlozing van de bovengenoemde situaties.

### ***Audrey Copland, Federal Highway Authority, influence moisture on bond strength***

Insteek FHA is enerzijds inzicht in de fundamentele processen en anderzijds testmethoden en modellen om het effect van waterschade op wegconstructies te bepalen/voorspellen. Hun insteek was voornamelijk experimenteel en statistisch (risico-analyse). Voor het model hebben ze gebruik gemaakt van het werk van de TUD-constructie mechanica (promotieonderzoek Niki Kringos).

De proef die ze gebruiken is de pull-off test (interface sterkte proef) aangepast voor het meenemen van waterschade. Van de proef hebben ze onderscheidend vermogen, herhaalbaarheid en vastgesteld (Copeland et al, "Moisture Sensitivity of Modified Asphalt Binders: Factors Influencing Bond Strength", TRB 07 paper).

In het begin van het onderzoek hebben ze bitumen op glasplaten onderzocht en hieruit kwam naar voren dat waterinvloed sterker was dan type bitumen en veroudering [(lange termijn, dus waarschijnlijk PAV), omdat dit op glas is en niet op aggregaten, speelt de relatief slechte kwaliteit (hoge porositeit) van de Amerikaans aggregaten hier niet mee.

Onderzochte stenen waren diabaas, zandsteen en kalksteen (limestone), ook de glasproeven werden meegenomen. Glas, diabaas en kalksteen/zandsteen waren te onderscheiden, maar zandsteen en kalksteen waren niet te onderscheiden. Dat is verrassend omdat zandsteen en diabaas mineralogisch verwant zijn en zandsteen en kalksteen niet.

Zij deden (itt Ooms en de TUD) hun proeven met het hele monster onder water, dit leidde in vrijwel alle gevallen tot schade in de mastiek. Hierdoor bleef onduidelijk wat de meest geschikte steen-mastiek combi's waren, ook bleef een voorspelling maken moeilijk, omdat je de relatie vochtgehalte-tijd-sterkte afname voor interface en mastiek onduidelijk bleef en daarmee de voorspelling voor een willekeurige tijd (gekoppeld aan situatie in de constructie) onmogelijk is. Test-technisch komt daar nog bij dat ze geen vijzel gebruikten, maar een schroefdraad om de belasting te creëren, dat geeft uitlijningsproblemen.

### ***Richard Ketchem, Univ of Texas at Austin, 3D imaging of pore structure***

Richard geeft uitgebreide informatie over de mogelijkheden van X-ray tomography. Hij geeft aan dat je om verbonden poriën te zien, je eigenlijk het proefstuk nat moet maken, omdat het water traceerbaar is. Dit is omdat de variatie in dichtheid van je materialen het moeilijk maakt om de grijswaarden accuraat te interpreteren, omdat niet elke grijswaarde hetzelfde betekent maar irt de dichtheid van de stenen daar ter plaatse. Nadeel van de watermethode (verzadiging onder vacuüm) is dat je niet weet of je alleen poriën ziet of ook water dat door diffusie in een materiaal getrokken is. Beelden doen denken aan een echo van een baby: je ziet iets, maar het vereist uitleg van een deskundige om te weten wat je ziet.

Betrouwbaarheid is dus afhankelijk van de deskundigheid van die persoon. Ben benieuwd of TA dit verschijnsel ook is tegengekomen, of dat de kernen die we hebben laten scannen allemaal redelijk uniforme stenen hadden.

Zelfs met water geeft hij aan dat er geen exacte porositeit wordt gevonden, omdat je niet alleen zwart en wit (geen of 100% water) hebt, maar ook veel grijs, wat een mengvorm van water en mastiek en/of steen is. Dat speelt bij lucht natuurlijk ook, dus hoe kom je aan een indicatie van betrouwbaarheid van je meting? Complicerende factor is dat de heterogeniteit van het materiaal betekend dat je op verschillende schalen verschillende zaken ziet, bv als je verder inzoomt kom je op het nivo dat je verschillende mineralen in de stenen waar gaat nemen.

## ***Dinsdag 18 september***

### ***Patrick Selvadurai, transport in porous media***

Uitgebreide lezing over stroming in poriestructuren, laminaire stroming en Darcy's law en de numerieke problemen om die simulatie stabiel en correct te krijgen. Sterk theoretisch verhaal, kern is dat je met verschillende schalen (nano-micro-mm) te maken hebt en mogelijke

oplossingen om voldoende nauwkeurigheid te krijgen in enerzijds de fysische parameters (concentratie ed) goed te krijgen en anderzijds de verschillende schaalniveaus te accommoderen. Zijn insteek is het gebruik van adaptive meshing (meshes die zichzelf waar nodig verfijnen), da vraagt enorm krachtige computers. Anders moet je de fouten (mn oscillatie) accepteren, wetende dat je geen perfecte antwoorden krijgt.

### ***Tomasz Hueckel Duke University, chemo-plastic damage in mastic moisture damage***

Verhaal vanuit het perspectief van geomaterialen, met een doorkijk naar asfalt. Kernvraag is of en zo ja hoe chemische processen de sterkte en stijfheid van een materiaal kunnen beïnvloeden in positieve of negatieve zin. Uit de grond mechanica spelen zaken als het oplossen of reageren van mineralogische componenten, wat tot verzwakking kan leiden en afzetting van mineralen die schade kunnen herstellen en daarmee de steen versterken. Uit de beton wereld kennen we het voorbeeld van de betonrot, en chemisch proces dat leidt tot sterkte en duurzaamheidsverlies. Deze processen spelen per definitie op verschillende schalen: chemische processen spelen op moleculair niveau, transport is op micro/meso niveau (je hebt meerdere korrels nodig om een porie te creëren en je hebt een porie nodig voor transport) terwijl de mechanische eigenschappen zich op meso of macro nivo manifesteren.

Kernprobleem is, logischerwijs, om voor al die in elkaar grijpende processen de benodigde parameters te bepalen.

### ***Niki Kringos TU Delft, modelling physical-mechanical moisture damage***

Gecombineerd effect van diffusie, advection (wegspoelen) en desorption (loslaten mastiek en steen). Advection en desorption samen geven erosie van de mastiek film. Daarnaast wordt ook de extra spanning meegenomen veroorzaakt door de aanwezigheid van water onder verkeersbelasting (water is nauwelijks samendrukbaar, als er ergens water zit en er wordt druk aangebracht, wil het materiaal vervormen, maar het water “doet niet mee” waardoor slijtspanningen in het materiaal optreden), dit is uit beton in offshore bekend als “pumping action”.

Ze geven een demonstratie van de mogelijkheden ahv parameter studie en de resultaten van het onderzoek dat ze voor ons gedaan hebben (TI, DWW-2971, Fundamenteel Experimenteel en Numeriek Onderzoek naar Rafeling in ZOAB door Waterschade).

### ***Silvia Caro Texas A&M modelling moisture damage in AC microstructure***

Ook zij willen toe naar een gecombineerd schade model voor waterschade, waarbij het effect van het water wordt opgenomen in het constitutieve model. Grootste verschil met het model van de TU Delft is dat zij naast het op een plek komen water (diffusie naar de interface) daar een proces verwachten dat leidt tot scheuren. Dit lijkt gekoppeld aan de perceptie van schade als scheuren, terwijl door de koppeling aan het constitutieve model je door aanwezigheid van water een reductie in sterkte kunt krijgen, zonder dat dit aan scheuren gekoppeld hoeft te zijn. Ze hebben uitgebreid gekeken in de polymeer en coating kennisgebieden en een heel scala aan mogelijke modellen gevonden, maar nog niks geïmplementeerd en ook geen parameters bepaald.

### ***Amit Bhasin Texas A&M material properties to characterize moisture damage***

Aardige visualisatie van een drie schalen benadering: asphalt als korrel-mastiek structuur, mastiek als bitumen – vulstof structuur naast een steen en de interface rond de steen. Aandacht gaat verder uit naar het gedrag van die interface, waarbij verschillende modellen uit de literatuur, zoals de rate theory volgens de Arrhenius vergelijking (gebruik makend van enthalpie ed).

Daarnaast presenteert hij veel proefresultaten, maar de samenhang met het model blijft onduidelijk. Er ontstaat enige discussie over hoe je het beste interface eigenschappen kunt

meten, en of het überhaupt wel kan. Niemand heeft een kant en klare oplossing, Scarpas (TUD) brengt een theorie naar voren waarbij gekeken wordt naar de eigenschappen van beide materialen en de interface wordt beschouwd als een transitie zone, waarbij de eigenschappen “verlopen”, dan hoeft je de interface niet te isoleren. Klinkt veel belovend, maar ze hebben er nog niet mee geëxperimenteerd.

Amit laat ook nog wat modellen en proeven op de grovere schaal zien, maar dit gaat door tijdgebrek erg snel.

## **Woensdag 19 september**

### **Hung-Jue Sue Texas A&M vochtdiffusie in polymeren**

Spreker uit de polymeren hoek (polymer technology center, een aan de universiteit gelieerd instituut). Hij poneert de stelling dat vochttransport volgens Ficks laws (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup>) geldt voor een gegeven materiaalstructuur, als deze degradeert (scheuren, porie vorming ed) gelden de wetten niet meer. Een methode om daar mee om te gaan is er ook voor polymeren nog niet, hij gebruikt wel een andere relatie, maar ook die is niet compleet. Het is overigens de vraag hoe sterk de invloed is van de verandering in structuur op het vochttransport en daarmee op het bezwijkgedrag: is het significant? Dat heeft hij niet laten zien.

Ze controleren of ze met een constante structuur te maken hebben door de materialen met IR ed te karakteriseren, als er geen verschuiving optreedt in het spectrum dan is het hetzelfde materiaal. Ze doen dit voor langere termijn gedrag, maar juist degradatie over tijd is dus uitgesloten.

Hij demonstreert een coupling model, waarbij het relaxatiegedrag van een polymeer gekoppeld wordt aan zijn omgeving, in de zin van temperatuur en vochtgehalte ed, interactie tussen verschillende materiaalcomponenten (belangrijk in een heterogeen materiaal als asfalt. Ik ben niet bekend met de gebruikte proeven en modellen, maar het wekt de indruk dat het een soortgelijke benadering met sterk empirische insteek is als bij asfalt, maar met iets andere gereedschappen. Heel anders dan de voor wegebouw totaal nieuwe benadering van bijvoorbeeld Troy Pauli van WRI.

Resultaten zijn bv mastercurves voor creep compliance factoren zoals een materiaal dat als het nat is 4x zo snel kruipt als wanneer het droog is.

### **Bryan Vogt Arizona State University, moisture distribution en transport in polymeren**

Hij definieert asphalt als een highly filled composite system, met als grootste probleem verschillende lengte schalen van processen waardoor je wat er gebeurt niet op fundamentele wijze kunt koppelen.

Cohesie afname kan door 2 processen beïnvloed worden, bulk swelling, waardoor samenhang afneemt of interface aantrekking van vocht, waarbij de overgangen in de mastiek vocht aantrekken (?).

Hij maakt gebruik van neutronen stromen of röntgenstralen om laagdiktes te meten, laagdiktes variëren van 4nanometer tot 4 micrometer. Hij meet bij verschillende laagdiktes de volume toename. Als de toename groeit met afnemende laagdikte lijkt het effect interfacial ipv bulk te zijn, is echter nog niet zeker, want de dunnere lagen zijn meer opgesloten, geeft hogere spanningen (gelijk aan andere eind-effecten), en kan daarmee de doorlatendheid beïnvloeden. Nader onderzoek onderbouwt dat het een interface proces is, niet een bulk zwelling. Vraag nu is hoe de vochtaccumulatie in de interface de adhesieve sterkte van de interface beïnvloed. Uit vergelijking van droge oppervlakte energie en vocht accumulatie geeft een evenredigheid. Doordat sterkte terugvalt in aanwezigheid van vocht, is een gemiddelde oppervlakte energie aantrekkelijk voor materialen in een vochtige omgeving, want dat geeft een redelijke sterkte met beperkte vochtaccumulatie en dus een beperkte afname van sterkte in vochtige condities.

Van de sterkte metingen blijkt er ook nog een extra effect te spelen, hoewel de vochttoename continue verloopt, treedt er een sprong op in de adhesieve sterkte (eigenlijk een val). Dit blijkt gekoppeld aan de hydrofobe of hydrofiële natuur van de interface, een hydrofiële materialen ontstaat een niet-uniforme verdeling van vocht ten gevolge van verhinderde bulk zwelling aan de interface, wat tot afschuifschade leidt. Bij hydrofobe materialen is de verdeling van vocht wel homogeen en treedt de sprong in gedrag niet op. Op grond van oppervlakte energieën kan hier rekening mee gehouden worden.

[Volgende vraag is hoe snel het vocht aan de interface komt. Hij gebruikt piezo kristallen met een substraat in vochtige omgeving, als er water wordt opgenomen neemt de massa toe en daardoor de frequentie van het kristal af, daarmee kun je enorm nauwkeurig je vocht accumulatie meten. Uit metingen blijkt de diffusie voor deze dunne lagen (nanometers) niet Fickiaans te zijn, hij hanteert een afwijkend polymeer diffusie model uit de literatuur.

Voor hydrofobe materialen als asfalt geldt dat voor dunne lagen de diffusie constante gaat afnemen, tengevolge van de materiaalstructuur: confinement verhindert de vrije beweging van polymeermoleculen, waardoor de beschikbare ruimte voor watermoleculen om tussen de moleculen door te bewegen afneemt: niet Fickiaans.

Er is enige discussie over de gebruikte technieken en hun resolutie, een discussie die vooral gevoerd wordt door de presentator, de WRI vertegenwoordiging (mn Troy Pauli) en de TUD technische natuurkunde afgevaardigde (Alexander...) die beiden met de TUD constructie mechanica samenwerken.

De interactie tussen een materiaalmodel en deze gegevens en modellen is lastig, want schade in een materiaal leidt tot discontinuïteiten die het vochttransport verstoren (makkelijke route voor water moleculen).