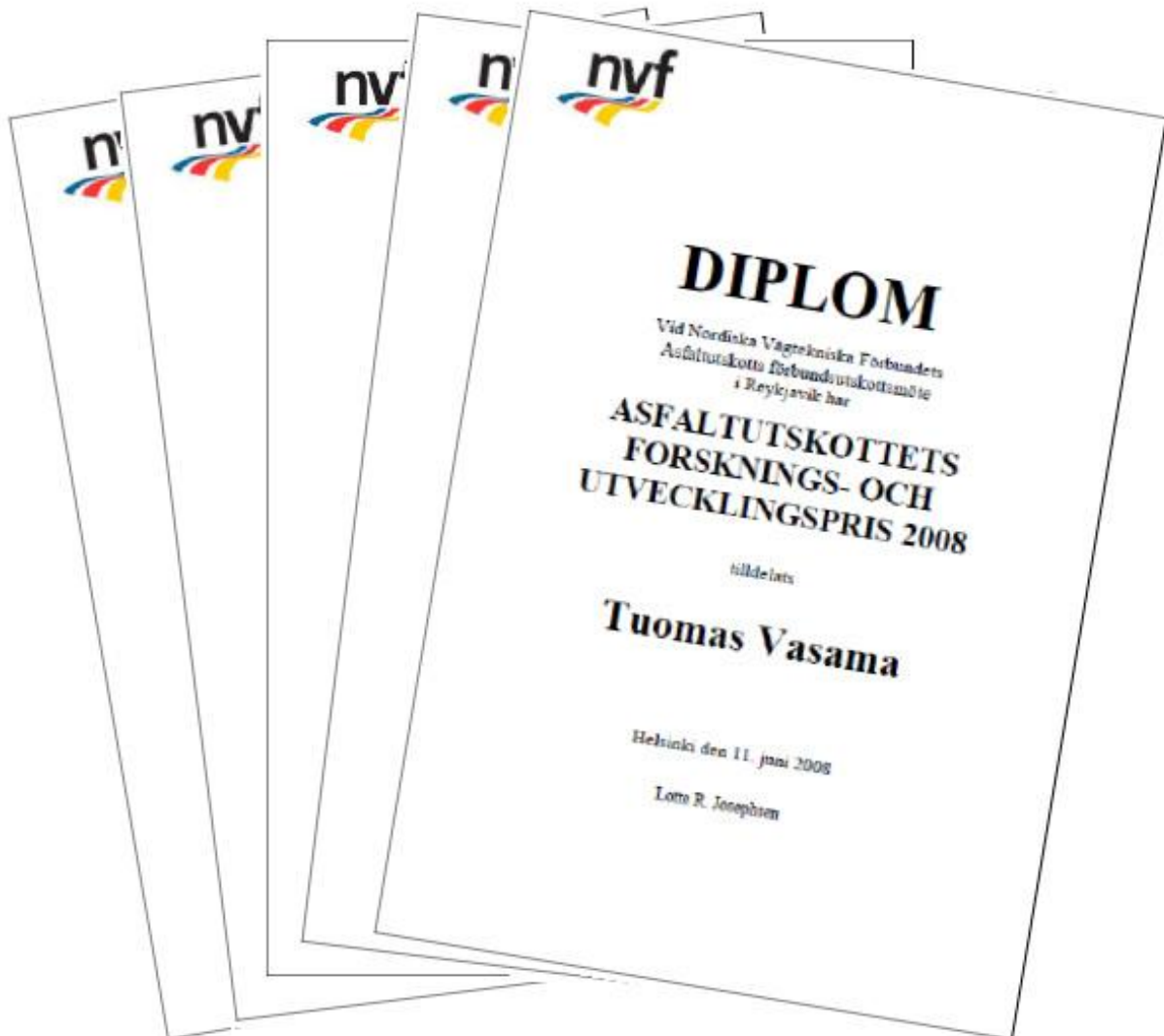




Nordisk asfaltforskning åren 2004-2008

Sammanställning av de FoU-projekt som presenterats vid förbundsutskottsmötena i København 2004, Tórshavn 2005, Uppsala 2006, Trondheim 2007 och Helsinki 2008.



Sammanställare:	Halldór Torfason, Island
Titel:	Nordisk asfaltforskning 2004 - 2008
Serie:	NVF-rapporter
ISSN:	0347-2485

En oppdatert rapportoversikt finnes på forbundets nordiske hjemmeside,
<http://www.nvfnorden.org>

FÖRORD.

Utskott 33, beläggningar, inom NVF, Nordiska Vägtekniska Förbundet har sedan 1994 delat ut ett "Forsknings- och utvecklingspris". Forskare från de olika Nordiska länderna presenterar deras FoU- projekt från respektive land. Efter presentationerna röstar utskottsmedlemmarna landsvis om vilket projekt och projektledare som skall få årets Forsknings- och utvecklingspris inom asfalområdet. Land får inte rösta på sin representant.

Detta förfarande har höjd standarden på FoU- presentationerna vid förbunds-utskottsmötena och har varit ett viktigt bidrag i dagsordningen på mötena. Det var också den ursprungliga målsättningen med priset som infördes vid förbundsutskottsmötet 1994 i Tällberg. Detta förfarande ger också unga forskare möjlighet att presentera sitt forskningsarbete och konkurrera om ett forskarpris. Asfalt-forskarpriset ökar sålunda unga människors intresse för utskottets och NVF's verksamhet och leder till att generationsklyftan blir mindre.

I denna rapport presenteras ett sammandrag av den asfaltforskning som presenterades vi förbundsutskottsmötena i København 2004, Thórshavn 2005, Uppsala 2006, Thronheim 2007 och Helsinki 2008. De deltagande ländernas skriftliga bidrag presenteras i sin helhet och respektive års vinnare presenteras.

Silkeborg i juli 2011.

Lotte Regel Josephsen
Formand i NVF Udvalg Belægninger.

ALKUSANAT

PTL:n jaosto 33 (Asfalttipäällysteet) on vuodesta 1994 lähtien jakanut ”Tutkimus- ja tuotekehitys-palkinnon” (T&K -palkinto). Päällystealan tutkijat eri Pohjoismaista esittelevät PTL 33:n liittojaostokokouksessa T&K -projektin, joka on valittu kunkin maan vuoden projekti. Esittelyn jälkeen liittojaoston jäsenet äänestävät siitä, mille päällystealan projektille ja tutkijalle ko. palkinto tulisi antaa. Oman maan edustajaa ei saa äänestää.

Palkinto ja uusi käytäntö on nostanut liittojaostokokouksessa esitettyjen tutkimus- ja kehitysprojektien esityksien tasoa. Tämä oli myös alunperin tarkoituskin, kun tutkijapalkinto otettiin käyttöön Tällbergin (Ruotsi) liittojaostokokouksessa 1994. Tämä käytäntö antaa nuorille tutkijoille mahdollisuuden esitellä tutkimuksensa ja kilpailla palkinnosta. Näin sukupolvien välinen kuilu madaltuu ja nuorten ihmisten kiinnostus päällystealaan sekä jaostoon ja PTL:n toimintaan kasvaa.

Tässä raportissa esitellään yhteenveto asfalttialan tutkimuksista, jotka esiteltiin PTL:n asfalttijaoston liittojaostokokouksissa Kööpenhaminassa 2004, Thórshavnissa 2005, Uppsalassa 2006, Trondheimissä 2007 ja Helsingissä 2008. Kilpailuihin osallistuneiden maiden kirjalliset esitykset esitetään kokonaisuudessaan ja kilpailujen voittajista kerrotaan lyhyesti.

Silkeborg, toukokuussa 2011

Lotte Regel Josephsen
PTL:n päällystejaoston puheenjohtaja

FOREWORD.

The Road Surface Committee of the Nordic Road Association has since 1994 granted the Research and Development Award. Researchers are selected from each Nordic country to present their research and development projects at the annual meeting of the Road Surface Committee. After the presentations committee members vote for each project and presentation and one of the researchers receives the Research and Development Award in the asphalt industry. Each country cannot vote for their representative.

This procedure has contributed greatly to raising the standard of research and development presentations at the Asphalt Committee's meetings, which was indeed the intention when the award was first introduced at the 1994 meeting in Tällberg. The procedure has also given young researchers the opportunity to present their research projects and compete for an award. In this way the gap between generations diminishes and the interest of the younger generation for the Asphalt Committee's work is increased, as well as for the activity within the Nordic Road Association in general.

This report gives a summary of the research projects submitted at the meetings of the Road Surface Committee that took place in Copenhagen 2004, Torshavn 2005, Uppsala 2006, Trondheim 2007 and Helsinki 2008. The written contributions of each participating country are presented in their entirety along with information about each year's winner.

Silkeborg, July 2011.

Lotte Regel Josephsen
Chairman for NVF 33.

Innehåll

Förord, Alkusanat, Foreword

1.	Inledning	1
	Beläggningsskottets forskarsegrare 2004 – 2008	1
2.	Forskningsprojekt som presenterats på Via Nordica i København 2004	2
	Kanteffekter på veger med tynt asfaltdekke. <i>Jostein Aksnes.</i>	3
	Livscyklusvurderingsværktøj for vejbygning. <i>Harpa Birgisdóttir.</i>	8
	Utmattning af asfaltkonstruktioner. <i>Richard Nilsson.</i>	19
	Asfaltbelægningens kamp mot buller. <i>Nina Raitanen.</i>	27
3.	Forskningsprojekt som presenterats vid förbundsutskottsmöte i Tórshavn 2005	31
	Asfaltdekker på flyplasser i Norge. Status på utvikling 1990-2005. <i>Geir Lange.</i>	32
	Användning av stålnät i gators och cykelvägars överbyggnader. <i>Aki Leislahti.</i>	69
	WearTox. Effekter på alveolmakrofager och epitelceller av slitlagerpartiklar från vägbana och däck. <i>Mats Gustafsson, Göran Blomqvist, Andreas Dahl, Anders Gudmundsson, Anders Ljungman, John Lindbom, Bertil Rudell, Erik Swietlicki.</i>	76
	Langtidsholdbare befæstelser på det danske motorsvejnet. <i>Bo Wamsler.</i>	86
4.	Forskningsprojekt som presenterats vid förbundsutskottsmöte i Uppsala 2006	94
	Udvikling af støjreducerende tyndlagsbelægninger til motorveje. <i>Sigurd N. Thomsen.</i>	95
	Exposure, lung function decline and systemic inflammatory response in asphalt workers. <i>Bente Ulvestad.</i>	106
	Så lyckas man med beställardriven utveckling. <i>Mats Wendel.</i>	134
	Nya avisningsmedel och asfaltbeläggningar. <i>Ville Alatyppö.</i>	142
5.	Forskningsprojekt som presenterats vid förbundsutskottsmöte i Trondheim 2007	150
	Automatisk mätning av beläggningsskador. <i>Tero Lassila.</i>	151
	Ny, norsk vegprofilskanner 2007. <i>Torleif Haugødegård.</i>	159
	Funktionell kvalitetsvärdering med ljudvågor. <i>Nils Ryden.</i>	168
	Koldblandet genbrugsasfalt – fremtidens vej i Danmark? <i>Jón Petersen, Lars K. Christensen.</i>	172
	Warm Mix Asphalt Technology Adoption. <i>Ólöf Kristjánsdóttir.</i>	173

6.	Forskningsprosjekt som presenterats på Via Nordica i Helsinki 2008	182
	Asfaltslitasje og svevestøv i Norge – Karakterisering av støvpartiklers fysiske og kjemiske egenskaper. <i>Brynhild Snilsberg</i>	183
	Förbättring av beläggningsarbetens produktionssyrning med hjälp av Lean-tänkande och automation. <i>Tuomas Vasama</i>	189
	Effekt of filler type on moisture sensitivity of asphalt. <i>Sigurveig Árnadóttir</i>	194
	Cementbundne bærelag i Danmark – udvikling og demonstration. <i>Finn Thøgersen</i>	202
	Om fillers mineralogiska sammansättning och dess funktionsegenskaper hos asfaltbeläggning. <i>Karl-Johan Lorents</i>	205

1. Inledning

“Asfalturskottets forsknings- och utvecklingspris” utdelades för första gången i samband med förbundsutskottsmötet i Tällberg i Sverige 1994. Reglerna för priset fastställdes i sin nuvarande form vid ordförande- och sekreterarmötet den 3. maj 1995. Enligt dessa vill asfaltutskottet genom att utdela priset:

- betona betydelsen av FoU för hela branschen
- visa branschens positiva inställning till FoU-verksamhet
- ge möjligheter för speciellt unga forskare att komma fram
- lyfta fram och sprida kunskap om intressanta FoU-projekt på nordisk arena
- höja kvaliteten och utbytet på förbundsutskottsmötet.

Man har vidare kommit överens om att man vid bedömningen av de projekt som presenteras speciellt skall beakta huruvida projektet:

- har positiv betydelse för utvecklingen av asfaltbeläggningar
- på sikt kan ge ekonomisk nytta och ha en marknadspotential
- har nyhetsvärde
- är förankrat i verkligheten (ej forskning för forskningens skull).

Dessutom skall man fästa vikt vid huruvida forskaren lyckas presentera sin forskning så att den blir förstådd också av en lekman. Asfaltutskottets forsknings- och utvecklingspris består av ett penningpris på 10.000 svenska kronor samt en diplom.

Sedan 1994 har presentationerna av intressanta FoU-projekt tillsammans med utveckling av “Asfaltutskottets forsknings- och utvecklingspris” förekommit på varje förbundsutskottsmöte och bidragit till att höja standarden på mötena. I denna rapport ingår de skriftliga presentationerna från København 2004, Tórshavn 2005, Uppsala 2006, Trondheim 2007 og Helsinki 2008.

Beläggningsutskottets forskarsegrare 2004 – 2008:

År	Stad	Segrare	Land	Titel
2004	København	Harpa Birgisdóttir	Danmark	Livscyklusvurderingsværktøj for vejbygning
2005	Tórshavn	Mats Gustavsson	Sverige	WearTox. Effekter på alveolmakrofager af slitagepartiklar från vägbana och däck
2006	Uppsala	Mats Wendel	Sverige	Så lyckas man med beställardriven utveckling
2007	Trondheim	Nils Rydén	Sverige	Funktionell kvalitetsvärdering med ljudvågor
2008	Helsinki	Tuomas Vasama	Finland	Förbättring av beläggningsarbetens produktionsstyrning med hjälp av Lean-tänkande och automation

2. FORSKNINGSPROJEKT SOM PRESENTERATS PÅ VIA NORDICA I KØBENHAVN 2004



Asfaltutskottets forsknings- och utvecklingspris 2004

Efter omröstning bland medlemmarna i förbundsutskottet utsågs Harpa Birgisdóttir, Island, som tävlade för Danmark till 2004 års mottagare av Beläggningsutskottets forsknings- och utvecklingspris.

7 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS FOR FURTHER RESEARCH

7.1 Conclusions

The main objective of the present thesis work has been to improve the knowledge concerning pavement edge effects. This is done by studying how load responses develop towards the pavement edge, primarily by performing measurements at a full scale, instrumented test field.

Introductory field measurements

Performed FWD measurements at different road cross sections in Sør-Trøndelag county show a considerable decrease in bearing capacity towards the pavement edge. The edge effect is noticeable for loads situated less than about 1.0 m from the pavement edge, and the bearing capacity 50 cm from the pavement edge is reduced by approximately 40 % compared to the value at the centre line.

A limited field test including FWD and plate loading was performed to study the structural effect of varying the side slope of an existing road. The findings show that a gradually steepening of the side slope has little influence on the measured bearing capacity near the pavement edge.

Construction of a full scale test field at Sandmoen

A full scale test field with instrumentation for the measurement of stresses and strains has been constructed. Accurate levelling of the granular layers and installation of the sensors were demanding tasks, and required a high degree of accuracy and control. Through this project, valuable experience from the construction and instrumentation work was gained.

Results from Sandmoen test field

Vertical stress has been successfully measured at the bottom of both the base and the subbase layers, 24 cm and 54 cm below the surface, respectively. The results show increasing vertical stress as loads are applied closer to the pavement edge. This effect is evident at the bottom of the base layer for load positions closer than 1.0 m from the pavement edge. Controlled traffic loading 40 cm from the pavement edge gives in average 68 % greater vertical stress at the bottom of the base layer and 28 % greater vertical stress at the bottom of the subbase layer compared to the corresponding measured values in the inner wheel path.

Measured vertical stress at the bottom of the base layer is very low when the load is placed 30 cm beside the sensor, and decreases towards the pavement edge.

As expected, horizontal compressive stresses are recorded at the bottom of the base layer for loads applied on the pavement surface. However, the measurements of horizontal stress show some surprising results, and should be repeated before any conclusions can be drawn.

Measurements of vertical deformations in the base and the subbase layers show that the vertical strains are substantially greater and have relative greater plastic components near the pavement edge than in the inner wheel path. Parts of the plastic strains recover when the load position is changed.

Horizontal deformation measurements show expansion in the base layer directly under the surface load. As for measurements in the vertical direction, much greater strains are found near the pavement edge than in the inner wheel path, and for all combinations of applied load, the plastic strain component is greater than the elastic component. Also horizontal strains recover when the load position is altered.

Comparison of calculated and measured load responses

3D finite element (FE) models for the calculation of responses at different offsets from the pavement edge have been set up. Linear analyses are performed, and the calculated stresses, strains and deformations are compared to the measured values. In

addition, multilayered elastic analyses are performed for comparison with measured load responses in the inner wheel path of the test field.

The FE calculations show only insignificant changes in stresses, strains and deformations as the load is moved closer towards the pavement edge. Consequently, comparisons of measured and calculated load responses in this part of the structure show considerable discrepancies. Better accordance between measured and calculated values is found in the inner wheel path, except for horizontal stresses at the bottom of the base layer where *compression* is measured while *tension* is calculated.

The large differences between measured and calculated load responses revealed in this study demonstrate that linear elastic modelling of the granular layers is inadequate for the calculation of load responses under a load situated close to the pavement edge, even when the edge is modelled in 3D FE analysis.

Norwegian road design practice

One of the interesting findings from the Sandmoen test field was that the plastic strain components in the base and subbase layers are greater for loading close to the pavement edge than in the inner wheel path. Permanent deformation in granular layers is the main cause for most of the occurring pavement edge damages at the Norwegian road network. It is therefore obvious that a traffic load placed near the pavement edge has a much higher deteriorating effect than a load positioned in the inner wheel path where the side support is better.

According to the Norwegian Pavement Design Manual (NPDM) /31/ and the Road and Street Design Manual /30/, the requirement for the pavement and shoulder width is dependent on the traffic volume and the road classification. For two-lane roads in rural areas of Norway and with AADT less than 1500 vehicles, the requirement is a lane width of 2.75 m and a shoulder width of 0.5 m. Only half of the shoulder, i.e. 0.25 m, has to be paved, which implies that the total width of the paved surface is only 6.0 m. When two trucks meet at a road like this, the pavement will obviously be exposed to heavy traffic loads very close to the edge. In order to prevent the pavement from premature edge damages and reduce the maintenance costs, it is therefore likely

to believe that an increase of the shoulder width to 0.75–1.0 m would be beneficial. A wider shoulder is also favourable from a traffic safety point of view. On the contrary, construction of roads with wider shoulders will of course bring along higher investment costs.

7.2 Recommendations for further research

The present work has contributed to new and interesting knowledge concerning the variation of load responses towards the pavement edge. Nevertheless, a lot of both experimental and theoretical research still remains in order to give a more complete understanding of the subject for a wider range of pavement types, material qualities and layer thicknesses.

Some of the results from the Sandmoen test field, especially concerning the horizontal load response in granular layers, were quite unexpected. Therefore, complementary field measurements should be performed.

In theoretical studies, the effort should be concentrated on the development and implementation of stress dependent material models for granular materials, for use in FE analyses. Another important property of such models should be the ability to handle permanent deformations.

The consequences of increasing the required shoulder width of new Norwegian low volume roads should be evaluated through a life-cycle cost analysis including both the investment and future maintenance costs together with an evaluation of the effects regarding traffic safety issues.

Livscyklusvurderingsværktøj for vejbygning

Livscyklusvurdering af asfalt som vejbygningsmateriale

*Harpa Birgisdóttir
Miljø & Ressourcer DTU
Danmarks Tekniske Universitet
DK- 2800 Lyngby
Email: hab@er.dtu.dk*

NORDISK VEJTEKNISK FORBUND – UDVALG 33
FORSKERKONKURRENCE - ASFALTBELÆGNINGER
VIA NORDICA 2004

1. INTRODUKTION

I vejsektoren anvendes store mængder ressourcer, både til etablering af nyanlæg og til drift og vedligeholdelse af eksisterende veje. Udover selve ressourceforbruget bidrager vejanlæggenes eksistens til adskillige miljøpåvirkninger, f.eks. forurening af jord og grundvand omkring vejanlæggene, indgreb i landskabet, støj, påvirkning af flora og fauna osv. Vejnettet består af flere forskellige typer vejanlæg som etableres og vedligeholdes ud fra forskellige teknikker. Dette gør at vejsektorens potentielle miljøpåvirkninger bliver yderst kompliceret.

De anvendte ressourcer er overvejende jomfruelige (også kaldt naturlige) men mange typer restprodukter, f.eks. restprodukter fra affaldsforbrænding, har egenskaber der gør at de kan anvendes til vejbygning. Genanvendelse af restprodukter i vejbygning kan dog ændre miljøbelastningerne fra vejbygning, både positivt og negativt. Ved genanvendelse af restprodukter vil der på den ene side undgås både anvendelse af jomfruelige ressourcer og deponering af restprodukter, men på den anden side vil der være risiko for øget udvaskning af uorganiske stoffer fra restprodukterne i forhold til jomfruelige ressourcer.

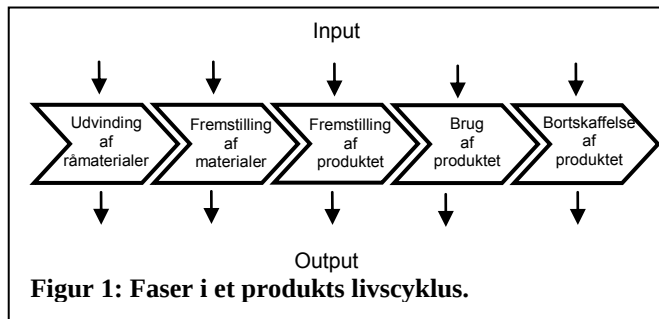
Livscyklusvurdering (LCA) er en metode der kan anvendes til at lave miljøvurderinger af komplekse systemer, her i kan indgå forbrug af mange forskellige ressourcer, genanvendelse af materialer og udledning af forskellige typer emissioner. På Miljø & Ressourcer DTU udvikles der i øjeblikket en livscyklusvurderingsmodel (LCA-model) for vejbygning og genanvendelse af restprodukter fra affaldsforbrænding. Modellen udvikles i samarbejde med Vejdirektoratet - Vejteknisk Institut, forbrændingsanlæggene Amagerforbrænding og Vestforbrænding og cementproducenten Aalborg Portland. Modellen forventes færdig i foråret 2005.

LCA-modellen kan anvendes til at lave miljøvurderinger af vejanlæg, hvor der både kan indgå jomfruelige og genanvendte materialer. Asfalt er et materiale som indgår i modellen og som har vist sig at være betydningsfuldt i vejanlæggenes livscyklus. Dels fordi forbruget af asfalt viser sig at have betydelige miljøpåvirkninger i vejens livscyklus og dels fordi dens fysiske udvikling har en vigtig rolle i forbindelse med vandindtrængning i vejkonstruktionen. Vandindtrængningen i vejkonstruktionen er især betydningsfuld i forbindelse med estimering af udvaskning fra restprodukter som anvendes som fyld, bundsikring eller bærelag i vejkonstruktionen.

I forbindelse med udviklingen af LCA-modellen er der indsamlet ”vugge til grav” data over miljøudvekslinger ved anvendelse af asfalt i vejbygning. Disse data omfatter ressourceforbrug og emissioner ved produktion, udlægning og vedligeholdelse af asfalt. Asfaltens levetid og vedligeholdelsesbehov er kortlagt, herunder udvikling af sprækker, og medfølgende vandindtrængning i vejarealet er estimeret. Der er udført udvaskningstest i laboratoriet hvis resultater kan belyse udvaskning af tungmetaller, salte og PAH'er fra asfalt i vejens levetid. Endvidere er der set på bortskaffelsesmetoder af asfalt. Denne artikel omhandler resultater fra kortlægning af miljøudvekslinger ved anvendelse af asfalt som vejbygningsmateriale i forbindelse med udvikling af LCA-modellen.

2. LIVSCYKLUSVURDERING

Livscyklusvurdering (LCA), ofte kaldt ”vugge-til-grav-vurdering”, er en metode som kan anvendes til at lave miljøvurdering på produkter såvel som større systemer. Formålet med LCA er at kvantificere alle miljøpåvirkninger i hele produktets livscyklus og dermed vise hvilke miljøpåvirkninger der opstår, og hvor i produktets livscyklus de er størst. Figur 1 viser de faser der indgår i et produkts livscyklus. Varigheden af brugsfasen for et produkt afgøres af produktets forventede levetid.



I LCA kortlægges alle miljø-udvekslinger som input og output, hvor forbrug af energi og ressourcer karakteriseres som input, og udledning af emissioner til luft, vand og jord, samt affald karakteriseres som output. Input og output bliver derefter inddelt i to grupper som anvendes til miljøvurderingen. Disse er hhv. forbrug af ressourcer og miljøpåvirkninger.

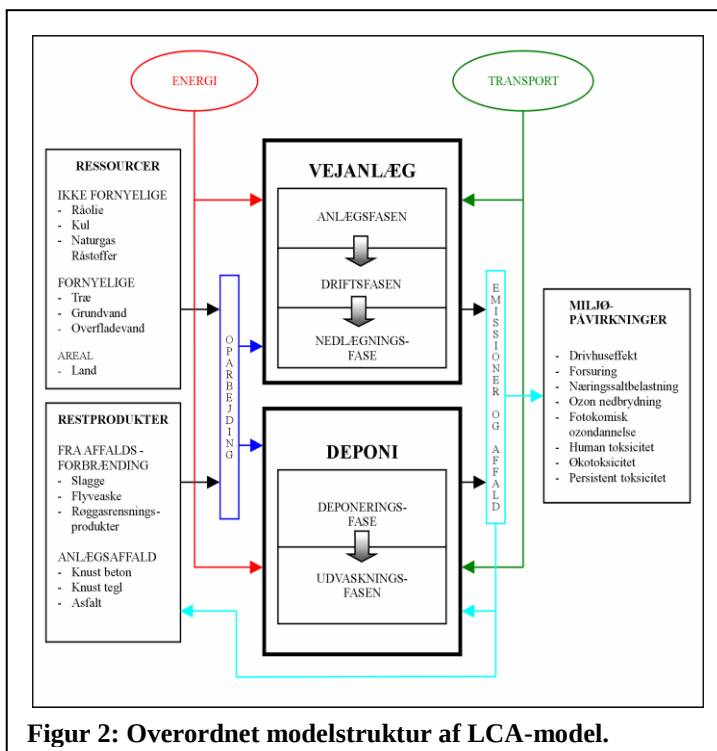
Under miljøpåvirkningerne hører 7 miljøpåvirkningskategorier, nemlig drivhuseffekt, forsurening, næringssaltbelastning, ozon nedbrydning, fotokemisk ozondannelse, human toksicitet, økotoxicitet og persistent toksicitet.

2.1 Livscyklusvurderingsmodel for vejbygning

Figur 2 viser den overordnede modelstruktur af LCA-modellen. Den består af to hovedsystemer, nemlig vejanlæg og deponi. Det sidstnævnte system er en vigtig del af modellen når genanvendelse af restprodukter sammenlignes med deponering. Idet artiklen kun omhandler asfalt som vejbygningsmateriale i vejens livscyklus, fokuserer artiklen derfor kun på den del af modellen der angår vejanlæg. Vejanlæggets livscyklus opdeles i de følgende tre faser:

1. Anlægsfasen.
2. Driftsfasen.
3. Nedlægningsfasen.

Anlægsfasen dækker over de aktiviteter der indgår i bygning af en vej klar til biltrafik. I



Figur 2: Overordnet modelstruktur af LCA-model.

modellen opdeles anlægsfasen i underkategorierne jordarbejde, udlægning af bundsikring, udlægning af bærelag, udlægning af slidlag og afsluttende arbejder. Anlægsfasen vil tidsmæssigt vare få måneder til et par år, afhængigt af entreprisens omfang.

Driftsfasen dækker over en række aktiviteter i vejens levetid. Disse aktiviteter opdeles i fire underkategorier, nemlig almen drift af vejen, vedligeholdelse af belægninger, vintertjenester og brug af vejen. Driftsfasen svarer til brugsfasen af et produkt, hvilket tidsmæssigt vil afhænge af produktets forventede levetid, jævnfør figur 1. I Danmark nedlægges eksisterende veje yderst sjældent. Vejnettet bliver gradvist udvidet ved at der bygges

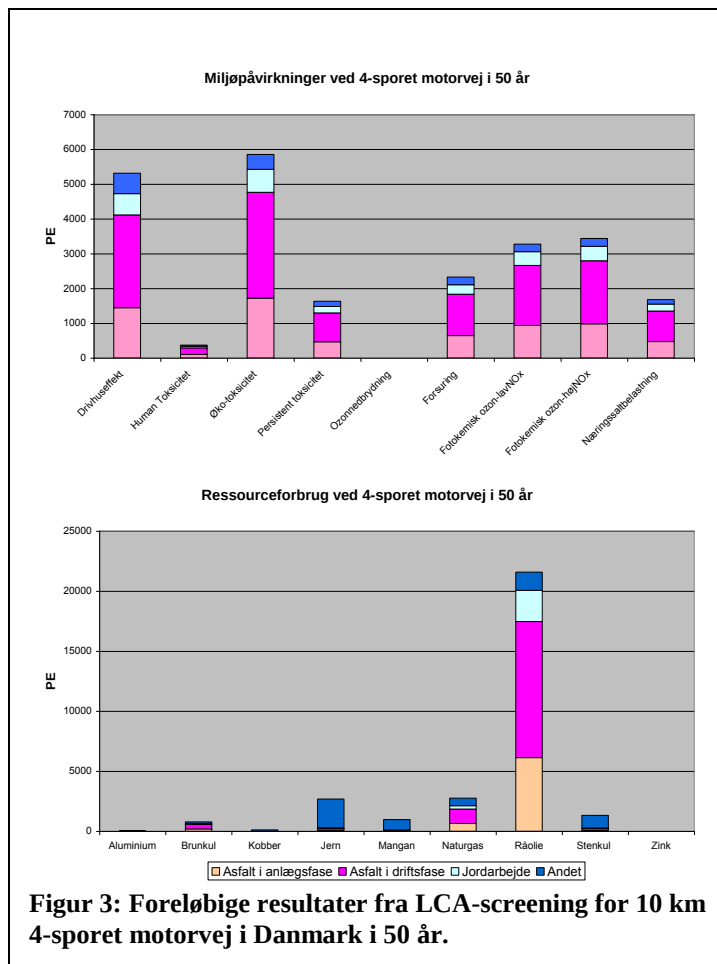
ovenpå eksisterende veje. Normalt nedlægges kun enkelte stumper af veje, f.eks. ved udvidelse

af eksisterende landeveje til motorveje. Det er derfor svært at definere den forventede levetid af den vej der skal miljøvurderes. Traditionelt anvendes levetider på 40-100 år når der udføres LCA på vejbygning /1,2,3/. Modellen giver brugeren selv mulighed for at vælge levetiden af den vej der skal miljøvurderes.

Idet det er usikkert hvad det skal ske med vejen efter driftsfasens afslutning, er det også usikkert hvilke bortskaffelsesmuligheder der skal vælges. Traditionelt i LCA på vejbygning vælges den løsning at vejen bliver liggende ved driftsfasens afslutning /1,2,3/. LCA-modellen giver brugeren to valgmuligheder ved levetidens afslutning, at lade vejen blive liggende eller opbrydning af vejen, med efterfølgende bortskaffelse af vejbygningsmaterialer.

2.2 Miljøpåvirkninger i vejens livscyklus

Figur 3 viser resultater fra en LCA screening¹ på en 4-sporet motorvej i Danmark i 50 år.



Resultaterne er præsenteret som normaliserede person ækvi-valenter (PE)². LCA screening medtager produktion af materialerne grus, asfalt, afvandingsmateriale og autoværn, samt energiforbrug ved jord-arbejde, udlægning af materialer i anlægsfase, almen drift, ud-lægning af materialer i driftsfase og vintertjenester. LCA-screeningen ser bort fra bort-skaffelse af affald, herunder genanvendelse eller deponering af asfalt, men dette medtages selvfølgelig i den endelige LCA-model.

Det fremgår af figuren at produktion og udlægning af asfalt bidrager med største delen af det samlede ressourceforbrug i vejens livscyklus. Forbruget af råolie skyldes hhv. indhold af bitumen i asfalt og energiforbrug ved produktion af asfalt og råmaterialer (især bitumen og skærver) og udlægning af asfalt.

¹ LCA screening: Det første step i udførelsen af en livscyklusvurdering hvor det væsentligste ressourceforbrug og emissioner medtages i en samlet vurdering. Denne vurdering er ikke udført i den LCA-model som nu er under udvikling, men de data der blev anvendt er data indsamlet i forbindelse med udvikling af LCA-modellen.

² Normaliseret person ækvivalent (PE): Svaret til hvad en person i Danmark bidrager med af hver enkelt ressource og hver enkelt miljøpåvirkning i forbindelse med alle aktiviteter der kan relateres til en dansk person i et år.

Det fremgår endvidere af figuren at asfalt bidrager med størstedelen af de samlede miljøpåvirkninger. Miljøpåvirkningerne er stort set alle tilknyttet forbrug af energi i vejens livscyklus.

Resultaterne fra denne LCA screening viser derfor at forbrug af asfalt som vejbygningsmateriale har en væsentlig betydning i vejens livscyklus og den påpeger at der bør ses nærmere på forbrug af bitumen og energi ved produktion af asfalt.

3. ASFALT I VEJENS LIVSCYKLUS

Figur 4 viser de vigtigste aktiviteter der vedrører asfalt i vejens livscyklus.



3.1 Anlægsfase

I anlægsfasen indgår aktiviteterne produktion af asfalt, transport af asfalt fra fabrik til anlægsområde og udlægning af asfalt. LCA-screeningen konstaterede at produktion af asfalt var af stor betydning for miljøpåvirkninger i vejens livscyklus, især energiforbrug ved produktion og bitumenindhold og derfor blev der valgt at fokusere på indsamling af data over produktion af asfalt fra danske asfaltværker.

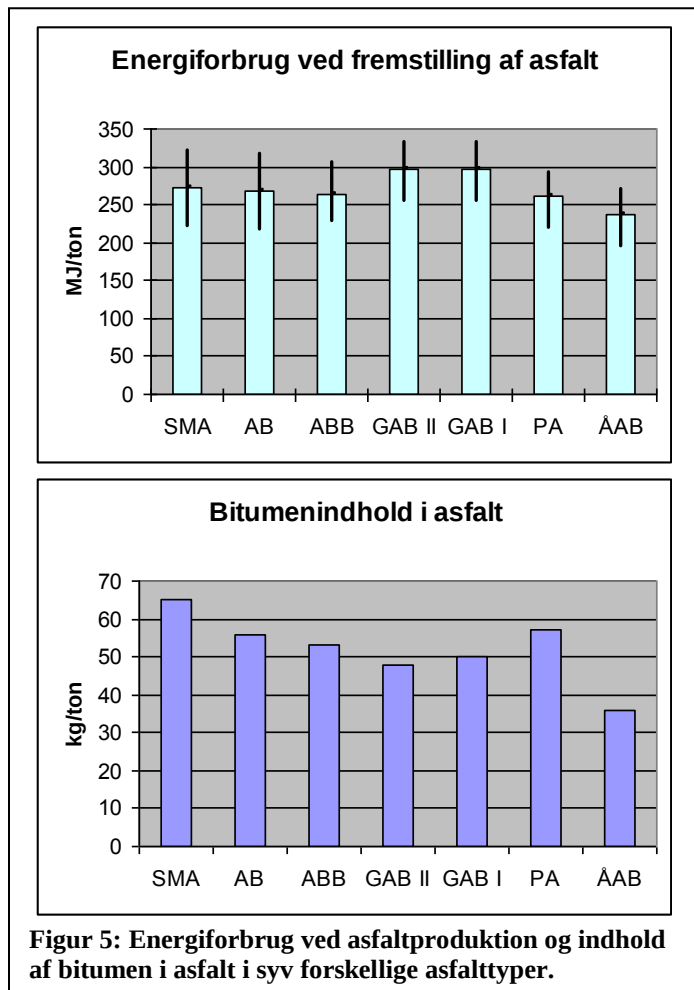
Produktion af asfalt

I tidligere livscyklusvurderinger /1,2/ anvendtes normalt gennemsnitsdata over varmblandet asfalt, dvs. der antages at al den asfalt der anvendes i vejanlæg har samme bitumenindhold (f.eks. 60 kg/ton) og samme energiforbrug (f.eks. 320 MJ/ton) /1/.

Tabel 1: Ressourceforbrug ved produktion af asfalt i typiske danske asfaltværker /4/.

	Unit	SMA 11	AB 8t granit	ABB	GAB II	GAB I	PA 8t granit	ÅAB 8
Beskrivelse								
- Temperatur område (optimal)	°C	160-175 (170)	145-175 (165)	130-160 (150)	130-170 (150)	130-165 (150)	125-145 (140)	130-150 (140)
- Maks. genanvendelse	%	-	10	15	20	15	10	-
<i>Total energi</i>	<i>MJ/ton</i>	<i>221-321</i>	<i>217-318</i>	<i>229-306</i>	<i>255-332</i>	<i>225-332</i>	<i>219-293</i>	<i>194-271</i>
- Naturgas	MJ/ton	189-289	185-286	197-274	223-300	223-300	187-261	162-239
- lavt vandindhold:	MJ/ton	2%: 189	2%: 185	3%: 197	4%: 223	4%: 223	3%: 187	2%: 162
- medium vandindhold:	MJ/ton	4%: 239	4%: 235	4%: 223	6%: 274	6%: 274	5%: 237	4%: 212
- højt vandindhold:	MJ/ton	6%: 289	6%: 286	6%: 274	7%: 300	7%: 300	6%: 261	5%: 239
- El	MJ/ton	25	25	25	25	25	25	25
- Diesel	MJ/ton	7	7	7	7	7	7	7
Ressourcer og materialer								
- Skærver (No)	kg/ton	760	510	240	-	-	480	830
- Grusgravsmat. (Dk)	kg/ton	200	475	750	960	970	495	170
- Basis cement	kg/ton	15	15	-	-	-	15	20
- Flyveaske	kg/ton	22,5	-	10	40	30	10	-
- Cellulosefibre	kg/ton	2,5	-	-	-	-	-	-
- Bitumen	kg/ton	65	55-57	53	48	50	57	36

Begrundet resultaterne fra LCA screeningen er der valgt i LCA-modellen at indsamle mere detaljerede data for produktion af de mest anvendte asfalttyper i dansk vejbygning. Det er set på



Figur 5: Energiforbrug ved asfaltproduktion og indhold af bitumen i asfalt i syv forskellige asfalttyper.

7 forskellige typer asfalt, nemlig skærvemastiks (SMA), asfaltbeton (AB), asfaltbetonbindelag (ABB), Grusasfaltbeton II og I (GAB II og GAB I), pulverasfalt (PA) og åbengraderet asfalt beton for broer (ÅAB). Dataene, der er fremskaffet i samarbejde med danske asfaltproducenter, fremgår af tabel 1 /4/.

Figur 5 viser variationen i energiforbruget og bitumenindholdet for de syv asfalttyper. Energiforbruget ved produktionen er hovedsageligt afhængig af vandindholdet i tilslagsmaterialerne og størrelsen af vandindholdet er både afhængig af årstid og overdækning af materialer. Energiforbruget blev estimeret ud fra erfaringer fra danske asfaltproducenter for lavt, middel og højt vandindhold i tilslagsmaterialer. Det fremgår af figuren at energiforbruget kan variere fra 194 MJ/ton for ÅAB ved lavt vandindhold til 332 MJ/ton for GAB I og II ved højt vandindhold. For en standardopbygning af en 4-sporet motorvej med SMA slidlag på 4 cm, ABB bindelag på 5 cm og GAB II bærelag på 16 cm fås godt

11% højere energiforbrug pr. kvadratmeter ved anvendelse af gennemsnitsdata over asfalt end ved detaljerede data for de valgte asfalttyper.

Bitumenindholdet varierer fra 36-65 kg/ton asfalt mellem de syv asfalttyper, lavest for ÅAB og højest for SMA. Ved anvendelse af gennemsnitsdata over asfalt fås godt 13% større bitumenforbrug pr. kvadratmeter for en standardopbygning af en 4-sporet motorvej.

3.2 Driftsfase

Hvad angår asfalt i driftsfasen er der i forbindelse med LCA-modellen fokuseret på fremskaffelse af data for vedligeholdelsesbehov af belægninger, vandindtrængning igennem belægninger og udvaskning af forurenende stoffer fra belægninger.

3.2.1 Vedligeholdelse af belægninger

I driftsfasen opstår skadesforekomster på asfalten, både på slidlag og bærelag. Modellen understøtter Vejdirektoratets belægnings management system (BELMAN) hvad angår skadestyper og reparationsmetoder. I LCA-modellen opdeles vedligeholdelse af slidlag i større og mindre reparationer. De mindre reparationer indebærer lapninger på det eksisterende slidlag

mens de større reparationer indebærer udskiftning af det eksisterende slidlag. Vedligeholdelsen af asfalt bærelag består udelukkende af større reparationer, nemlig opretning af bærelag.

Større reparationer af slidlag

Hyppigheden mellem de større reparationer afhænger af den forventede levetid på det anvendte slidlag. I modellen anvendes Vejdirektoratets forventede levetider for de forskellige slidlagstyper. Den forventede levetid varierer mellem 5-20 år, afhængig af slidlagstype og trafikintensitet. Typiske værdier for asfalt anvendt i en 4-sporet motorvej i Danmark er levetid på 11-12 år for skærvemastiks i kørebaner og 6-7 år for overfladebehandling i nødspor. Dog vil nødspor i virkeligheden sandsynligvis blive vedligeholdt samtidig med kørebaner og derfor have længere levetider.

Reparationerne indebærer fræsning af eksisterende slidlag, udlægning af nyt slidlag med en asfaltudlægningsmaskine og komprimering og bortskaffelsesmuligheder af asfalt.

Større reparationer af bærelag

Bærelagets levetid er estimeret til ca. 25 år. Efter 25 år er der derfor behov for reparation af bærelaget, enten i form af udskiftning eller opretning. Dette vil i praksis kun blive gjort samtidig med udskiftning af slidlaget. Reparationerne indebærer fræsning af eksisterende slidlag, evt. fræsning af en del af bærelaget, udlægning af et nyt bærelag med en asfaltudlægningsmaskine og komprimering.

Mindre reparationer af slidlag

De mindre reparationer dækker over forskellige aktiviteter, f.eks. forsejlinger af revner og håndlapninger af huller. Vejdirektoratet og andre brugere af LCA-modellen kan anvende egne erfaringstal for hyppighed af de mindre reparationer, men vedligeholdelsesbehovet vil variere meget for de forskellige veje.

3.2.2 Antal sprækker i asfalt og vandindtrængning i vejkonstruktionen

Indsigt i omfanget af vandindtrængning i vejkonstruktionen er betydningsfuldt for estimering af udvaskning fra vejbygningsmaterialer. Dette er især betydningsfuldt for LCA-modellen fordi den skal kunne modellere miljøpåvirkninger ved genanvendelse af restprodukter i vejbygning. Modellen skal derfor kunne beregne udvaskning fra restprodukterne og sammenligne den med udvaskning fra de jomfruelige materialer.

I LCA-modellen antages at sprækker er de styrende parametre for vandindtrængningen gennem belægninger. Følgende parametre for sprækker er derfor nødvendige for LCA-modellen således at den kan beregne udvaskning fra materialer:

- Udvikling i antal sprækker pr. vejareal (m sprække/ m^2 vej).
- Vandindtrængning gennem eksisterende sprækker (m^3 vand/ m sprække).

Datamateriale over omfanget af vandindtrængning i veje er mangelfuldt og det eksisterede ingen data som kunne relateres til de nødvendige parametre i modellen. Dette gav anledning til nærmere fokus på vandindtrængning igennem belægninger, både beton- og asfaltbelægninger, i projektet. Parametre for vandindtrængning blev modelleret i samarbejde med Environmental Research Group på University of New Hampshire, USA. Data til modelleringerne stammer fra et forskningsprojekt for veje styret af Department of Transportation i Minnesota (Mn DOT). Dette forskningsprojekt er et af verdens største forskningsprojekter på veje og indeholder 10 km forsøgsstrækninger, fordelt på godt 50 forskellige sektioner af forskellig opbygning. Her har

sprækkedannelse og drænopsamling i forskellige vejkonstruktioner været registreret i en 10 års periode /6/.

Længde og areal af sprækker

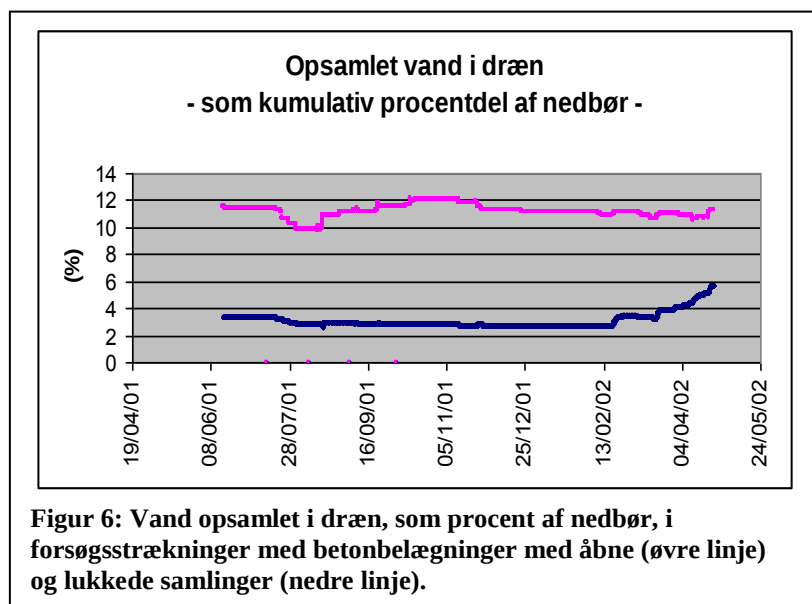
Ud fra erfaringer fra MnDot er det i LCA-modellen valgt at opdele vejens vedligeholdelsestilstand i fem kategorier, nemlig god, over gennemsnit, gennemsnitlig, under gennemsnit og dårlig. Under hver kategori hører en værdi for samlet antal sprækker/m² vej. Kun sprækker som går igennem hele belægningen er betragtet som vandførende sprække. Eksempler på vandførende sprækker er tværgående sprækker (dannet pga. temperaturændringer) og langsgående sprækker (placeret mellem kørebaner og skulder). Det kan også opstå flere typer sprækker, bl.a. sprækker der ikke går igennem belægningerne. Et eksempel på denne type sprække er langsgående sprækker placeret i kørespor, såkaldt "top down" sprækker. Tabel 2 viser de vejledende værdier som anvendes i LCA-modellen for vejens tilstand baseret på erfaringstal fra MnDOT. Vejdirektoratet arbejder i øjeblikket på at oversætte disse værdier over til danske forhold.

Tabel 2: Karakterisering af slidlagets tilstand i vejens levetid i LCA-modellen og eksempler på vandførende og ikke vandførende sprækker som tæller med i karakteriseringen /7/.

Karakterisering		Eksempler på vandførende sprækker		Eksempel på sprække som er ikke vandførende
	Totalt antal sprækker i vej	Tværgående sprækker Dannes pga. temperaturændringer (frost/optøning)	Langsgående sprækker Placeret mellem kørebaner og langs skulderen.	Top down sprækker Langsgående sprækker i kørespor.
	Sprække går igennem asfalt m/m ² kørebane	Sprække går igennem asfalt m/m ² kørebane	Sprække går igennem asfalt m/m ² kørebane	Sprække går ikke igennem asfalten m/m ² kørebane
God	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1
Over gennemsnit	0,1-0,2	0,05-0,1	0,05-0,1	0,1-0,2
Gennemsnit	0,2-0,3	0,1-0,15	0,1-0,15	0,2-0,3
Under gennemsnit	0,3-0,4	0,15-0,20	0,15-0,20	0,3-0,4
Dårlig	>0,40	>0,20	>0,20	>0,40

Vandindtrængning i vejkonstruktioner, herunder gennem sprækker

Data fra forsøgsstrækninger i Minnesota blev anvendt til at estimere vandindtrængning i beton- og asfaltbelægninger. Vandindtrængningen er beskrevet i to typer kategorier, nemlig baggrundsinfiltation og sprækkeinfiltation.



Baggrundsinfiltationen defineres som den mængde vand der samles op i drænrør i en vej der ingen sprækker har, eller hvor alle eksisterende sprækker er lukkede. Vandets eksakte passage igennem vejarealet er ikke kendt, men en del af vandet forventes at komme fra vejsiden. Baggrundsinfiltationen udtrykkes som procentdel af årlig nedbør, og størrelsen varierer efter nedbørsintensiteten.

Sprækkeinfiltrationen³ defineres som den mængde vand der infiltrerer gennem sprækker, og størrelsen varierer også efter nedbørsintensiteten. Værdier for sprækkeinfiltrationen er fundet ved sammenligning af den mængde vand der samles op i dræn i 2 tilsvarende vejkonstruktioner, hvor den ene har ingen sprækker og den anden har en kendt mængde sprækker. Sprækkeinfiltrationen udtrykkes som mængde vand pr. meter over nedbørstid.

Dataene over vandindtrængning igennem asfaltbelægninger er stadig under udarbejdelse, mens foreløbige værdier for vandindtrængning igennem betonbelægninger foreligger. Opsamling af vand i dræn i vejkonstruktioner med lukkede og åbne samlinger, udtrykt som procentdel af nedbør, kan ses af figur 6 og foreløbige værdier for infiltrationen fremgår af tabel 3. Af figur 6 kan det ses at tilstedeværelsen af åbne samlinger er af stor betydning for vandindtrængningen i betonveje. Betydningen forventes ikke at være helt så stor i asfaltveje, idet åbningen af sprækkerne normalt vil være mindre i asfalt end samlingerne i betonvejene.

Tabel 3: Foreløbige værdier for baggrundsinfiltation og sprækkeinfiltration gennem betonbelægninger /8/

	Baggrundsinfiltation (% af årlig nedbør)	Sprækkeinfiltration (m3 vand/m sprække/nedbørstid)
Nedbør <2 mm/time	5	0,0006
Nedbør >2 mm/time	7	0,001

3.2.3 Udvaskning fra asfalt i vejens levetid

Asfalt indeholder organiske og uorganiske forbindelser, bla. PAH'er, som kan udvaskes fra vejbelægningen til omgivelserne. Det er udført en række analyser på jorder omkring veje som kan påvise forurening af bl.a. PAH'er i området omkring veje /9/. Kilder til forurening af vejområdet er bl.a. afslid fra vejbelægninger, udvaskning fra vejbelægninger, slitage af dæk, udstødning fra biler m.v. /10/.

Der fandtes ingen data som kunne anvendes til at estimere omfanget af udvaskning fra asfalt i vejens levetid. Der blev derfor udført udvaskningsforsøg med asfalt til at estimere udvaskning af PAH'er, tungmetaller og salte fra asfalt i vejens livscyklus (64 dages tank udvaskningstest: Dutch Tank Leach Test NEN 7345). Der blev i alt målt på udvaskning af 38 komponenter, heraf 16 PAH'er og 22 tungmetaller og salte. Udvaskningsforsøgene blev udført på asfalt kerner fra eksisterende vejarealer i Danmark, GAB II og AB udlagt på en rasteplads i 1980 og GAB II og SMA udlagt i en motorvej i 2001.

Hvis udvaskningen fra asfalten er diffusionsstyret, kan der ud fra udvaskningsforsøgets resultater udregnes såkaldte diffusionskoefficienter for de enkelte forureningskomponenter. Diffusionskoefficienterne kan siden anvendes til at estimere udvaskning fra asfalt i en længere periode, evt. op til 100 år.

Følgende formel kan anvendes til at estimere den akkumulerede udvaskning M (i mg/kg) af komponent (x) fra monolitiske materialer over tiden t (i sek.). De øvrige parametre, der indgår i formelen, er densiteten af det monolitiske materiale ρ (i kg/m³), tilgængelig mængde for udvaskning C_0 (i mg/kg) af den pågældende komponent (x) og diffusionskoefficienten (D_{ex}).

³ I betonbelægninger er sprækkeinfiltrationen faktisk infiltration gennem samlinger i betonbelægninger mens sprækkeinfiltrationen i asfaltbelægninger er igennem sprækker som dannes under driftsfasen.

$$M_{xt} = 2 \cdot \rho \cdot C_{0x} \left(\frac{D_{ex} \cdot t}{\pi} \right)^{1/2}$$

Tabel 4 viser de fundne diffusionskoefficienter for 2 PAH'er, samt den estimerede udvaskning fra asfalten i 100 år.

Tabel 4: Beregnet kumulativ udvaskning ved 100 års udvaskning fra asfalt ($M_{x, 100 \text{ år}}$ i mg/m² asfaltflade i kontakt med vand) og estimerede diffusion koefficienter (pD_{ex} - log(ms⁻²)) af PAH'erne naftalen og phenantren /11/.

	I GAB II 1980		II AB 1980		III GAB II 2001		IV SMA 2001	
	M_k	pD_{ex}	M_k	pD_{ex}	M_k	pD_{ex}	M_k	pD_{ex}
Naftalen	0,99	13,27	2,3	13,02	0,49	13,55	0,64	12,64
Phenanthren	0,42	12,26	0,58	12,80	0,44	12,59	0,77	14,07

Relateres resultaterne fra tabel 4 til udvaskning fra 1 km 4-sporet motorvej i levetid på 100 år fås⁴ en udvaskning på 3,2 g naftalen og 3,7 g phenantren i vejens levetid, hvilket svarer til hhv. 1,1 % af naftalen og 3,5% af phenantren i asfalten.

3.3 Nedlægningsfasen

Hvis brugeren af modellen vælger at lade blive liggende efter driftsfasens afslutning skal brugeren ikke foretage sig noget mht. nedlægningsfasen. Vælger brugeren derimod at vejen skal brydes op, indgår bortskaffelse af materialerne i nedlægningsfasen. Materialerne bortskaffes på samme måde som der er gjort for materialer som fræses bort i driftsfasen. Modellen giver mulighed for enten genanvendelse af asfalt eller deponering.

4. DISKUSSION OG KONKLUSION

I artiklen har det været forsøgt at belyse hvilke parametre er fundet vigtige mht. til asfalt som vejbygningsmateriale i vejens livscyklus og hvilke parametre der har været fokuseret på at indsamle data for i LCA-modellen, som er under udvikling på Miljø & Ressourcer DTU. Mange resultater er præsenteret ganske kortfattet idet der ikke er rum for detaljeret gennemgang af så mange resultater i denne artikel.

LCA-screeningen viste at asfalt bidrager betydeligt til både ressourceforbrug og ydre miljøpåvirkninger i vejens livscyklus og at produktionen af asfalt var af stor betydning. Det påpeger vigtigheden af at have nøjagtige data for asfaltproduktion til rådighed i LCA-modellen. Energi- og ressourceforbrug ved produktion af de syv mest anvendte asfaltbelægninger i Danmark blev kortlagt i samarbejde med danske asfaltproducenter og de data der blev fundet frem til viser at have indflydelse på resultater fra en LCA sammenlignet med traditionelle gennemsnitsdata for asfalt.

Hyppigheden af vedligeholdelse af belægninger, både store og små reparationer, har indflydelse på energi- og ressourceforbruget i driftsfasen. LCA-modellen tager udgangspunkt i det danske

⁴ Det antages at motorvejen har en opbygning med 4 cm SMA og 16 cm GAB II (det ses bort fra ABB bindelag idet der ikke foreligger udvaskningsdata for dette materiale). Det antages endvidere at vejens tilstand er over gennemsnit, dvs. 0,15 m sprække/m² og at materialerne er våde 1/3 af året. Den totale mængde som udvaskes over 100 år for en 1 km motorvej er hhv. 3,2 g naftalen og 3,7 g phenantren. Det totale indhold af PAH'erne i asfalten i den 1 km motorvej er hhv. 296 g naftalen og 105 g phenantren. I det følgende regneeksempel er der ikke taget højde for udskiftninger af asfalten, men det ville kunne gøre udvaskningen lidt større.

belægningsmanagementsystem BELMAN når det gælder skadestyper, levetider for belægninger og reparationer.

Omfang af vandindtrængning i vejareal er en vigtig parameter i LCA-modellen, idet den anvendes til at estimere udvaskning fra materialer, jomfruelige materialer såvel som rest-produkter. I forbindelse med udvikling af modellen blev der udviklet en metode til estimering af vandindtrængningen ud fra to parametre, nemlig baggrundsinfiltation og sprækkeinfiltation. Modellen anvender vejledende værdier for antallet af sprækker for fem foruddefinerede tilstands-former for vejen (fra god til dårlig tilstand). Denne del af modeludviklingen er udført i samarbejde med Environmental Research Group på University of New Hampshire, USA og med et omfangsrigt datamateriale fra MnDOT som står for et af verdens største forskningsprojekter på veje. Udviklingsarbejdet er færdiggjort for betonbelægninger men data er stadig under bearbejdning for asfaltbelægninger. Derfor har der i artiklen kun været muligt at præsentere principper for metoden for asfaltbelægninger og ikke de aktuelle data. Dataene forventes færdigarbejdet i løbet af sommeren 2004.

Jord omkring vejarealer er forurennet med en række forureningskomponenter, bl.a. PAH'er og tungmetaller. Vejbygningsmaterialer kan indeholde forureningskomponenter, f.eks. indeholder asfalt bl.a. PAH'er. Der er dog også andre kilder til forurening af områder omkring veje, bl.a. udstødning fra biler, slid af dæk m.v. Det fandtes ikke data til at beregne hvorledes udvaskning fra asfalt kan bidrage til forurening af omgivelserne i dens levetid i vejen. Det var derfor i forbindelse med modellen udført udvaskningsforsøg, hvis resultater kan anvendes til at beregne udvaskning af PAH'er, tungmetaller og salte fra asfaltbelægninger i en længere tidshorisont, alt op til 100 år. Overslagsberegninger for 1 km 4-sporet motorvej 100 år gav en udvaskning PAH'erne naftalen og phenantren på hhv. 3,2 og 3,7 g fra asfaltbelægningerne. Disse resultater kan siden indsættes i LCA beregninger og miljøpåvirkningerne på spredning af PAH'er i jorden kan sammenlignes med øvrige miljøpåvirkninger i vejen.

5. REFERENCES

- /1/ Life Cycle Assessment of Road. A Pilot Study for Inventory analysis. Håkan Stripplé, IVL Swedish Environmental Research Institute 2001.
- /2/ Life cycle Assessment of road construction. Ulla-Maija Mrouh et al., Finnra Reports no 17/2000. Finnish National Road Administration 2000.
- /3/ Livscyklusanalyser – et anvendeligt redskab for asfaltindustrien. Helle Fabiansen, Asfalt vore veje, nr. 4 2003, Asfaltindustrien 2003.
- /4/ Personlig kontakt med Jan Kjærulf Pedersen, NCC Danmark 2003.
- /5/ Belman skadeskatelog, Vejdirektoratet, 1999.
- /6/ Minnesota Road Research Project: www.mrr.dot.state.mn.us/research/mnresearch.asp
- /7/ Distress Identification Manual. MnDOT, Office of Material and Road Research, Pavement Management Unit. February 2003.
- /8/ Simple modeling approach for estimating long term water flow through pavements, Part I: Water Movement (unpublished *paper- in preparation*). Harpa Birgisdóttir E&R DTU, Defne Apul ERG UNH, Ruth Roberson MnDOT, Thomas Christensen E&R DTU and Kevin Gardner ERG DTU.
- /9/ Vejledning i håndtering af jord i og fra offentlige vejarealer. Vejregelforberedende rapport nr. 1 2001. Vejdirektoratet 2001.
- /10/ Kilder til jordforurening med tjære, herunder benzo(a)pyren i Danmark. Miljøprojekt. 728 2002. Miljøstyrelsen 2002.
- /11/ Leaching of PAH's from hot mix asphalt pavements (unpublished *paper- in preparation*). Harpa Birgisdóttir, Jesper Gamst, and Thomas H. Christensen. Environment & Resources DTU, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark, 2004.

Utmattning av asfaltkonstruktioner

Bidrag till NVF:s forskartävling i ämnet asfaltteknik – Via Nordica 2004

Richard Nilsson, Skanska Sverige AB

Bakgrund

I takt med att analytiska dimensioneringsmetoder utvecklas ökar även behovet av att kunna bestämma mekaniska egenskaper hos materialen i överbyggnaden och terrassen. Utmattningssprickor orsakade av tung trafik, permanenta deformationer (spårbildning), termisk sprickbildning, ojämnheter, tjäle och reflektionssprickor är några av de dimensioneringskriterier som kan användas då en väg dimensioneras.

En analytisk (mekanistisk) dimensioneringsmodell består av två huvudmodeller; materialmodeller för materialen i överbyggnaden och terrassen samt en strukturell responsmodell. Den strukturella responsmodellens uppgift är att beräkna spänningar och töjningar i överbyggnaden, som sedan används för att prediktera nedbrytningen av vägen, dvs. hur exempelvis utmattningssprickor, spår, ojämnheter etc. utvecklas över tiden. Det föreslås av COST 333¹ att en inkremental beräkningsprocedur bör användas då det framtida tillståndet för vägen beräknas vilket betyder att den strukturella responsmodellen måste kunna beskriva den gradvisa nedbrytningen i varje lager för varje lastcykel. Materialmodellerna behövs för att indata (spänningar och töjningar) till den strukturella modellen ska kunna beräknas på ett korrekt sätt. För att kunna bedöma det framtida tillståndet för vägen på ett realistiskt sätt är det därför viktigt att använda avancerade och korrekta materialmodeller.

När skador i material studeras används i huvudsak två angreppssätt; en mikromekanisk ansats eller så behandlas materialet som ett continuum. När en mikromekanisk ansats används beskrivs skadorna av geometriska parametrar, t.ex. sprickvidd för mikrosprickorna, orientering eller densitet. När materialet betraktas som ett continuum, även kallat continuum damage mechanics, representeras det skadade materialet av ett continuum som har en avsevärt större skala jämfört med exempelvis sprickvidd för mikrosprickor.

De flesta utmattningskriterier som används idag är empiriska relationer baserade på laboratorieförsök och/eller fältförsök. Oftast relaterar modellerna enbart till en initial respons (t.ex. initial dragtöjning i underkant beläggning) vilket betyder att de inte beskriver de komplexa belastningsfall som uppkommer i en väg under dess livslängd.

Det stora antalet olika typer av laboratorieutrustningar som har utvecklats under åren är också ett problem. Varje försöksupställningen ger oftast en unik beskrivning av det testade materialets utmattningsegenskaper. Om en konstant töjningsnivå används uppstår inte alltid brott i materialet men om i stället en konstant spänningsnivå används uppstår nästan alltid brott. I det första fallet måste därför brott definieras. Definitionen som brukar användas idag är att brott i materialet anses ha uppkommit då den initiala styvheten har reducerats till 50 % av ursprungsvärdet. Brott i fält brukar oftast definieras som en viss mängd sprickor på ytan.

Denna doktorsavhandling är den sista delen av ett doktorandprojekt kallat ”Materialtekniska betingelser för utmattning av asfaltbeläggningar”. Syftet med doktorsavhandlingen är att utvärdera existerande modeller, som används för att beskriva utmattning av asfaltbeläggningar. Exempelvis ATB VÄG, Asphalt Institutes kriterium, Shells kriterium etc. och eventuellt också hitta en förbättrad modell som skulle kunna användas i en strukturell responsmodell i framtiden. Olika Continuum Damage Mechanics (CDM) modeller kommer också att utvärderas. Erhållna resultat med dessa modeller kommer att jämföras med resultat erhållna med mera traditionella metoder. I projektet har också enaxiella laboratorieförsök utvärderats.

¹ Development of New Bituminous Pavement Design Methods

Modeller som använts för att utvärdera utmattningsdata

Några olika modeller som används för att beskriva utmattningssegenskaperna hos en asfaltbeläggning har utvärderats i detta arbete. Resultat erhållna med de traditionella metoderna har jämförts med de beräknade med Continuum Damage Mechanics modellerna. Följande traditionella modeller har använts:

- Wöhler-diagram
- Svenskt dimensioneringskriterium (ATB VÄG)
- Asphalt Institutes (AI) kriterium
- Shells kriterium

Samt följande Continuum Damage Mechanics modeller:

- Kachanov's Continuum Damage Mechanics teori
- Modifierad Griffith-modell baserad på skjuvspänning
- Ullidtz modell baserad på energitäthet
- Enaxiell konstitutiv modellering av asfalt baserad på viskoelasticitet och Continuum Damage Mechanics teori.

Material och Metod

I projektet har tre typer av massor använts, en standard bärlagermassa AG16, 4.8 %, 160/220 tillsammans med två alternativa massor kallade Inorbind16™, 5.3 %, 70/100 + fiber och Durabind16™, 4.3 %, 70/100 + polymer.

Stenmaterialet består huvudsakligen av gnejs med inslag av diabas. Bindemedlet har levererats av Nynäs och är av typen 160/220 och 70/100 och har tillverkats av råolja från Venezuela. I Inorbind16™-massan har fiber tillsatts och bindemedlet ingående i Durabind16™-massan modifierades med en polymer kallad Vestoplast™.

Arbetsgången har varit följande:

- Packning av plattor
- Utborrning av provkroppar
- Parallelsågning av ändytor
- Torkning
- Bestämning av hålrumshalt
- Fastlimning av ändplattor på provkropparna
- Fastlimning av LVDT-hållare på provkropparna
- Testning

Plattor, 600 x 400 x 150 mm, packades med en "Rolling Wheel Compactor". Från varje platta borrades 10 provkroppar ($\varnothing$ 75 mm) ut med en portabel borrarutrustning. Efter borrningen kapades provkropparna till en höjd av 150 mm (2:1 förhållande).

Provkropparna placerades i ett torkskåp över natten (20-25 °C). Därefter mättes skrymdensiteten enligt vattenmetoden. När provkropparna hade torkat limmades ändplattor och LVDT-hållare fast.

Försöken utfördes med en servohydraulisk utrustning, UTM-25 (Universal Testing Machine-25 kN) levererad av Industrial Process Controls Ltd (IPC), Australien. Utrustningen består av en ram, kolv, lastcell, hydraulisk oljepump, kontroll- och datainsamlingssystem (CDAS) och en klimatkammare.

Följande testprogram användes:

- Frekvenssvep
- Hållfasthetsförsök med konstant belastningshastighet (monotoniska försök)
- Utmattningsförsök (cykliska försök)

Frekvenssvep utfördes vid temperaturerna 10, 0, -10, 20, 30, 40 samt ett extra försök vid 10 °C för att bestämma materialets komplexmodul (E^*) och fasvinkel (ϕ) samt för att få ett utgångsvärde på provkroppens egenskaper innan förstörande testning utfördes. Extraförsöket vid 10 °C utfördes för att kontrollera om provkroppen blivit skadad vid de tidigare frekvenssvepen. För att minimera de permanenta deformationerna användes en sinusformad last. Sex frekvenser användes i varje svep, 0.1, 0.5, 1, 5, 10 och 20 Hz och svepet startade alltid med den högsta frekvensen. Data användes också för att konstruera ”masterkurvor” för materialet.

Vid en serie hållfasthetsförsök med konstant belastningshastighet studerades materialets hastighetsberoende egenskaper samt brotthållfasthet. Försöken utfördes vid 0 och 10 °C och samtliga provkroppar testades till brott. Olika belastningshastigheter användes.

Utmattningsförsök med både konstant spännings- och töjningsnivå utfördes vid 0 och 10 °C. Vid samtliga försök användes en sinusformad lastpuls (1 och 10 Hz) utan viloperioder. Provkropparna testades till brott och antalet lastcykler till brott varierade mellan 5 000 och 200 000 cykler.

Resultat och diskussion

Material: De testade massorna var relativt grova vilket gjorde det svårt att packa materialet och risken för separationer ökade jämfört med om finare massor hade använts. Det är därför mycket viktigt hur materialet hanteras för att kunna undvika separationer. Det är också viktigt att samma operatör packar plattorna. En klar trend var att hållrumshalten i plattorna var högre i kanterna, dvs. där hjulet ändrar riktning, och lägre i mitten.

Frekvenssvep: Som förväntat var den dynamiska modulen lägst för AG16-massan och högst för Durabind16™-massan. Särskilt vid höga temperaturer uppvisar den polymermodifierade massan överlägsna egenskaper jämfört med en ej modifierad massa. Det finns även skillnader i fasvinkeln mellan massorna, massan innehållande det mjukaste bindemedlet har en högre fasvinkel jämfört med massorna med det hårdare bindemedlet om jämförelsen görs vid samma temperatur.

Wöhler-diagram: Den brantaste lutningen (n) erhöles för AG16-massan och den flackaste lutningen för Durabind16™-massan. Inorbind16™-massan placerade sig mellan de båda andra massorna. Det var också intressant att se att resultaten som framräknats med VTI:s programvara stämde relativt väl överens med testresultaten från de spänningskontrollerade försöken utförda på AG16-massan.

Asphalt Institutes (AI) kriterium: Asphalt Institutes kriterium användes för alla tre massatyperna (töjningskontrollerade försök) för att beräkna den initialt tillåtna töjningsnivån. Beräknade töjningsnivåer jämfördes med uppmätta nivåer och korrelationen mellan värdena var relativt god. Bäst korrelation erhöles för testerna utförda på Inorbind16™ och Durabind16™ massorna. Det genomsnittliga förhållandet mellan beräknade och uppmätta värden var 0.83 för AG16-massan och 1.00 och 1.03 för Inorbind16™- och Durabind16™-massorna.

Shells kriterium: Genom att med hjälp av SOLVER-funktionen i EXCEL variera C-värdet i Shells kriterium kunde felet mellan beräknade och uppmätta töjningar minimeras. För AG16-massan erhöles bäst korrelation mellan uppmätta och beräknade värde med ett C-värde på 14.4, för Inorbind16™- och Durabind16™-massorna användes i stället C-värdena 13.8 och 12.0 för att uppnå bäst korrelation mellan uppmätta och beräknade värden. Tidigare försök indikerar att för töjningskontrollerade försök ger ett C-värde lika med 10.5 $\mu\text{strain}/\%\text{bitumen}$ resultat som är korrekta inom $\pm 10 \%$ (Nielsen, 1989).

Kachanov's Continuum Damage Mechanics teori: Den största fördelen med att använda en Continuum Damage Mechanics modell är att den gradvisa nedbrytningen av materialet kan beskrivas. När Kachanov's CDM-modeller används är det inte möjligt att beskriva den S-formade kurva som är så typisk för ett utmattningsförsök utfört på asfaltmaterial. På grund av detta måste den första delen av försöken utelämnas när modellkonstanterna beräknades.

En stor nackdel med att använda denna metod är att ett oändligt antal kombinationer av regressionskonstanterna m , c (nedbrytning baserad på energi) och n , k (nedbrytning baserad på spänning) kan användas för att uppnå god korrelation mellan uppmätta och beräknade värden. Det visade sig också att det finns en relation mellan styvhet och regressionskonstanterna c och k .

Varken när nedbrytningen baserades på energi eller spänning var det några problem att uppnå en relativt god korrelation mellan uppmätta och beräknade värden för en enskild provkropp. Bäst korrelation uppnåddes för spänningskontrollerade försök. Ett problem är dock att skillnaderna mellan de enskilda regressionskonstanterna (c -värdena och k -värdena) är stor. Det är också en stor skillnad om regressionskonstanterna för spännings- respektive töjningskontrollerade försök jämförs, vilket betyder att det inte går att använda ett konstant c - eller k -värde för att beskriva ett godtyckligt försök.

Modifierad Griffith-modell baserad på skjuvspänning: En fördel med denna modell är att sprickor som uppkommer både från ytan och från botten av beläggningen kan beskrivas, vilket inte är fallet då Kachanov's CDM-modell används. Även när den modifierade Griffith-modellen används är det inte möjligt att beskriva den S-formade kurva som är så typisk för ett utmattningsförsök utfört på asfaltmaterial. På grund av detta måste den första delen av försöken utelämnas när modellkonstanterna beräknades.

En mycket bra korrelation mellan uppmätta och beräknade värden erhöles för de spänningskontrollerade försöken men för de töjningskontrollerade försöken var resultaten genomgående dåliga. När den modifierade Griffith-modellen användes för töjningskontrollerade försök var det inte möjligt att erhålla en böj i slutet av försöken på samma sätt som för de spänningskontrollerade försöken.

Det fanns indikationer på ett samband mellan dynamisk modul och regressionskonstanten kkk på liknande sätt som för Kachanov's CDM-modell, dvs. en högre dynamisk modul leder till ett lägre kkk -värde. Detta samband är dock inte lika starkt för denna modell som det är för Kachanov's modell. Det fanns även indikationer på att spänningsnivån kunde påverka kkk -värdet, inga entydiga samband kunde dock fastslås. De genomsnittliga kkk -värdena varierar mellan 0.0018 och 0.0030. Om variationerna mellan enskilda provkroppar studeras blir skillnaderna större.

Ullidtz modell baserad på energitäthet: En fördel med Ullidtz modell är att det är möjligt att beskriva den S-formade kurva som är så typisk för ett utmattningsförsök utfört på asfaltmaterial. Det är därför möjligt att uppnå nästan perfekt korrelation mellan beräknade och uppmätta värden för både spännings- och töjningskontrollerade försök. Studeras regressionskonstanterna för enskilda provkroppar upptäcks att variationerna är relativt stora och det är inte heller möjligt att finna någon klar trend som kan användas för vidare analys. Variationerna mellan regressionskonstanterna var störst för de töjningskontrollerade försöken och något mindre för de spänningskontrollerade försöken. Det var därför inte möjligt att dra några långtgående slutsatser från försöken.

Enaxiell konstitutiv modellering av asfalt baserad på viskoelasticitet och Continuum Damage Mechanics teori: De första monotoniska försöken som utfördes i detta projekt var på provkroppar från AG16-massan. Försöken utfördes vid 10 °C och resultaten blev inte alls de förväntade. Om pseudotöjning används i stället för verklig töjning vid utvärderingen av försöken ska enligt teorin materialets hastighetsberoende egenskaper kunna elimineras, så var dock inte fallet för dessa inledande försök. Det antogs därför att plastiska och/eller viskoplastiska töjningar eventuellt skulle kunna påverka resultaten vid 10 °C eftersom bindemedlet som användes i AG16-massan var relativt mjukt (160/220). I detta projekt har endast viskoelastiska töjningar analyserats med hjälp av Schapery's

tidiga modeller. Eftersom data inte kollapsade till en karakteristisk materialfunktion som förväntat, antogs att den använda modellen inte kunde användas för att fullt ut analysera det aktuella datamaterialet. Det bestämdes därför att temperaturen skulle sänkas och ett begränsat antal nya monotoniska försök skulle köras. Temperaturen sänktes till 0 °C och en korresponderande belastningshastighet till den snabbaste belastningshastigheten vid 10 °C beräknades. Nya monotoniska försök utfördes sedan vid 0 °C där den nya belastningshastigheten användes. Som ett tillägg utfördes även försök vid 0 °C med den dubbla belastningshastigheten och nu visade det sig att det var inte några problem att eliminera materialets hastighetsberoende egenskaper. En slutsats som kan dras från dessa inledande försök är att det är viktigt att välja rätt belastningshastighet om bindemedlet i den testade massan är mjukt. Om en för låg belastningshastighet alternativt för hög temperatur används kan det bli problem vid analysen av data om den beskrivna metoden används.

Både styvhet (spänning dividerat med töjning) och normaliserad pseudostyvhet (C_1) beskriver en S-formad kurva över tiden och med ett skarpt fall nära brott. Fasvinkeln ökar upp till brott, men när brottet har inträffat börjar den minska igen. Denna teckenändring för lutningen, dvs. när lutningen för fasvinkeln plottat mot tid ändrar tecken från positiv till negativ, gör fasvinkeln till en relativt bra indikator för när brott inträffar. Observationerna ovan är relativt klara för de spänningskontrollerade försöken men inte alltid observerade för de töjningskontrollerade försöken. De töjningskontrollerade försöken hade oftast inte det distinkt S-formade utseendet som nästan alltid observerades för de spänningskontrollerade försöken. Som ett resultat av detta är det därför oftast mycket svårt att definiera när brott inträffar för ett töjningskontrollerat försök.

När C_1 -värdet har minskat till ca 0.35-0.40 (särskilt för cykliska försök), dvs. nära brott, börja kurvorna i diagrammet som beskriver C_1 som en funktion av S_1 att vidgas något. En förklaring till detta skulle kunna vara att makrosprickor börjar utvecklas i provkroppen vilket betyder att styvhet definierad som spänning dividerat med töjning inte längre gäller. Detta kan vara en rimlig förklaring eftersom nedbrytning av asfalt (och andra material) oftast beskrivs som en process i tre faser. I fas ett bildas mikrosprickor i materialet, i fas två propagerar några av dessa mikrosprickor och bildar makrosprickor och slutligen i fas tre fortsätter makrosprickorna att utvidgas tills brott uppstår i materialet.

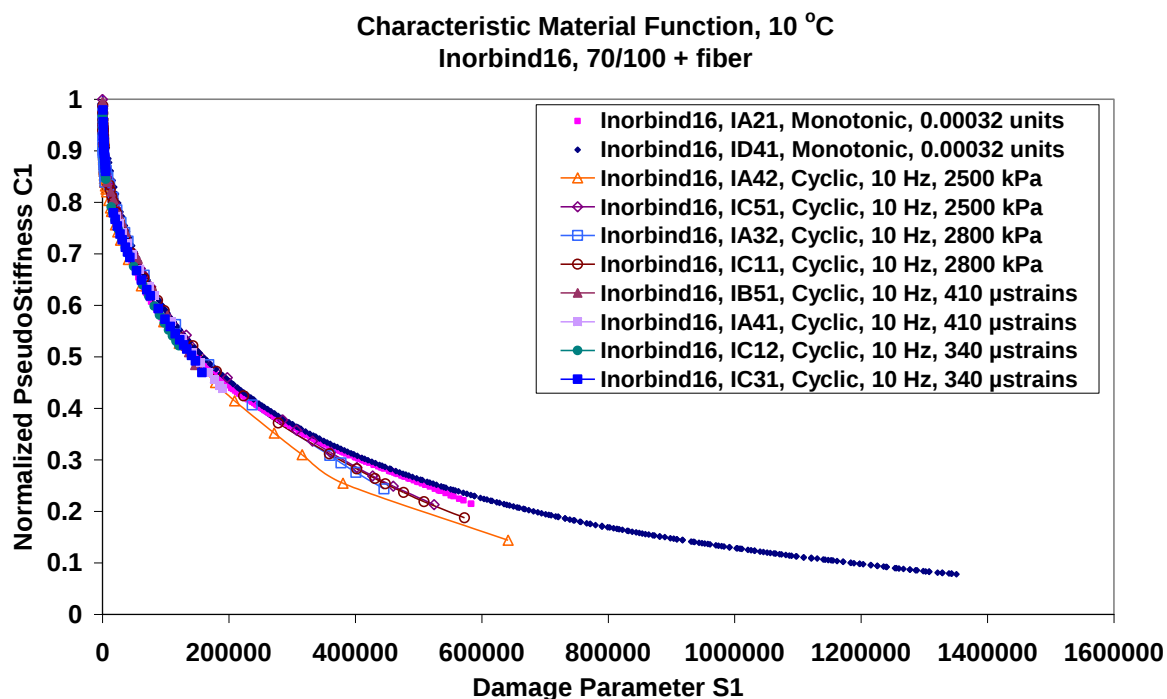
De cykliska försöken som utfördes på Inorbind16™-massan vid 1 Hz korresponderar inte så bra som förväntat med de monotoniska försöken utförda på samma massa. I diagrammet som beskriver C_1 som en funktion av S_1 framgår det att de cykliska försöken är lokaliserade något under motsvarande monotoniska försök. En bra förklaring har inte hittats men om försöken utförda vid 1 Hz på Inorbind16™-massan jämförs med försöken utförda vid 1 Hz på Durabind16™-massan framgår det att de senare ser bättre ut, dvs. korrelationen mellan monotoniska och cykliska försök är bättre. Eftersom försöken utförda vid 1 Hz har en mycket långsammare belastningshastighet jämfört med försök utförda vid 10 Hz kan det antas att testtemperaturen 10 °C är på gränsen av vad materialet klarar av innan plastiska och/eller viskoplastiska töjningar börjar påverka resultaten. Om temperaturen hade sänkts till 0 °C hade troligtvis korrelationen mellan monotoniska och cykliska utförda på Inorbind16™-massan blivit betydligt bättre för försöken utförda vid 1 Hz.

Generellt sett har prediktioner som gjorts med utgångspunkt från data från spänningskontrollerade försök bättre korrelation mellan beräknade och uppmätta värden än om resultaten jämförs med prediktioner från töjningskontrollerade försök. Provkroppar från Inorbind16™-massan hade minst variationen i hållrumshalt och som ett resultat blev prediktionerna som gjordes för denna massatyp relativt bra. Durabind16™-massan hade något högre variation i hållrumshalt mellan provkropparna och därför blev också prediktionerna inte alltid så bra för denna massatyp, särskilt inte för de töjningskontrollerade försöken. De töjningskontrollerade försöken har också en något annorlunda form (brantare) i diagrammet som beskriver C_1 som en funktion av S_1 om de jämförs med de spänningskontrollerade försöken utförda på de övriga massorna. Detta påverkar resultaten när cykliskt beteende predikteras från monotoniska försök.

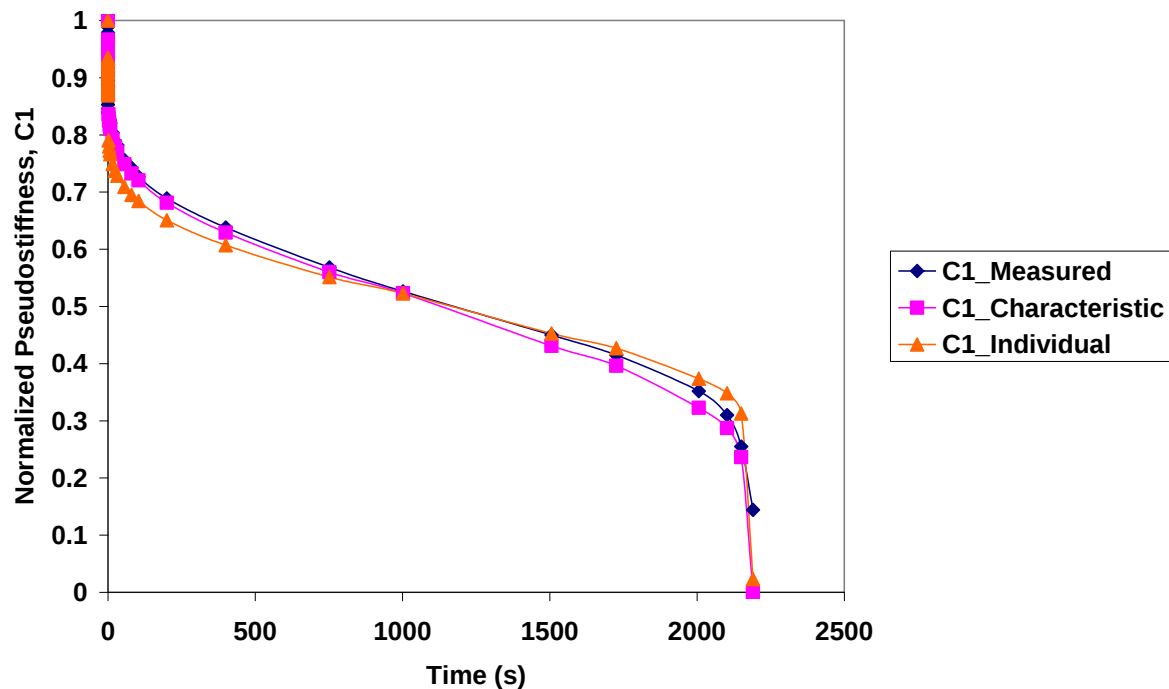
Bidrag till forskningen

I detta forskningsprojekt är det första gången som svenska asfaltmassor (en standardmassa samt två modifierade massor) har blivit grundligt utvärderade med hjälp av Schapery's teorier. Eftersom vi fortfarande använder oss av linjärlogaritmiska samband mellan initial töjning och antalet lastcykler till brott i de svenska normerna (ATB VÄG) kan det vara en stor förbättring att använda den beskrivna metodiken som ett alternativ till de nuvarande metoderna. I framtiden är det inte längre nödvändigt att utföra tidskrävande utmattningsförsök eftersom det går att erhålla samma information från enkla och snabba monotoniska försök. Antalet provkroppar, som krävs för att karakterisera ett materials egenskaper, kan också minskas kraftigt. Som demonstrerats i detta forskningsprojekt var det möjligt att använda olika frekvenser och belastningshastigheter och trots detta kunde materialets nedbrytning beskrivas med en karakteristisk materialfunktion. När den karakteristiska materialfunktionen väl har etablerats för det aktuella materialet är det möjligt att prediktera materielbeteendet för vilken töjningshistoria som helst vid vilken temperatur som helst, se exempel i Figur 1 och Figur 2 nedan. Givetvis inom rimliga gränser eftersom vi vet att spårbildning är mera uttalad vid höga temperaturer medan utmattningssprickor är mera representativt för lägre temperaturer.

Det är författarens starka övertygelse att det är möjligt att använda en materialmodell baserad på Schapery's teorier i en inkremental strukturell responsmodell i framtiden. Detta skulle kunna betyda att utvecklingen av utmattningssprickor på ytan över tiden kan predikteras mera korrekt jämfört med dagens system.



Figur 1 C_1 vs. S_1 , Inorbind16™, monotoniska and cykliska tester (10 Hz), 10 °C, $\alpha=(1+1/m)$.



Figur 2 Prediktion, C_1 vs. tid, provkropp IA42, controlled-stress test, 2500 kPa, 10 °C, 10 Hz.

Slutsatser

De traditionella modellerna, dvs. Wöhler-diagram, Asphalt Institutes (AI) kriterium och Shells kriterium, fungerar tillfredsställande och kan användas då ett ungefärligt värde på utmattningslivslängden behövs. Problemet med modellerna är att de är för enkla om en mera grundlig beskrivning av materialbeteende eftersträvas. Modellerna kan inte heller beskriva den gradvisa nedbrytningen av materialet som krävs i en inkremental strukturell responsmodell.

De enklare Continuum Damage Mechanics modellerna som använts i detta arbete, dvs. Kachanov's, Griffith's och Ullidtz' modeller, är inte heller optimala då en beskrivning av den gradvisa nedbrytningen av materialet behövs. Nedbrytningen av en enskild provkropp kan beskrivas relativt bra men det är inte möjligt att beskriva nedbrytningen för ett godtyckligt antal provkroppar testade vid olika spännings- och/eller töjningsnivåer och samtidigt använda samma uppsättning regressionskonstanter för samtliga provkroppar. Det finns också en stor skillnad mellan regressionskonstanterna för spännings- och töjningskontrollerade försök.

Den modell som har den största potentialen i framtiden är modellen som utvecklats av Schapery och baseras på viskoelasticitet och continuum damage mechanics. Modellkonstanterna har en fundamental mekaniska betydelse, dvs. värden som kan mätas i ett laboratorium kan sedan användas i modellen.

Genom att använda pseudotöjningskonceptet var det möjligt att separera de viskoelastiska effekterna från skadeackumuleringen i provkroppen och materialets hastighetsberoende egenskaper kunde elimineras. Massor som innehöll både ickemodifierade och modifierade bindemedel användes med goda resultat.

Genom att använda tid-temperatursuperpositioneringsprincipen och samma skiftfaktorer som användes för att skapa masterkurvorna var det möjligt att skifta de karakteristiska materialfunktionerna mellan olika temperaturer. Denna observation gör det möjligt att minska antalet testade provkroppar och ändå erhålla information om materialets beteende vid flera temperaturer.

Det var även möjligt att beskriva olika typer av försök, monotoniska samt spänningsstyrda och töjningsstyrda cykliska försök, med en karakteristisk materialfunktion, se exempel nedan. Försöken utfördes med olika belastningshastighet för de monotoniska försöken och med olika spännings- och töjningsnivåer samt frekvenser för de cykliska försöken. Denna observation gör det möjligt att minska antalet testade provkroppar eftersom cykliskt beteende kan predikteras från enkla och snabba monotoniska tester vilket är en stor förbättring jämfört med konventionella metoder.

Lee (1996) definierade brott som en 50-procentig reduktion av pseudostyvheten, vilket också korresponderar med ett C_1 -värde lika med 0.5. Testerna utförda i detta projekt visar att denna gräns kanske är något för konservativ. Ett bättre alternativ kan vara att använda ett C_1 -värde lika med 0.35-0.40 om en definition av brott erfordras.

Fortsatt arbete

I framtiden måste även materialets åldrade inkluderas i modellen. I detta arbete har endast nytt material använts vid testerna. En annan faktor, som också måste studeras, är hur viloperioder (healing) påverkar materialets egenskaper. Dessutom måste flera olika typer av graderingar, stenmaterial, filler, bindemedelstyper etc. studeras för att undersöka om metodiken kan appliceras på alla typer av förekommande asfaltbeläggningar.

Eftersom enaxiella försök inte är optimala för kvalitetskontroll och för att snabbt kontrollera materialets egenskaper kan det kanske även vara intressant att undersöka om metodiken även går att applicera på Indirect Tensile Tests (pressdragprovning). Slutligen, för att bättre kunna simulera de spänningar och töjningar som uppstår i en väg kanske triaxialförsök kan vara en lämplig försöksuppställning.

Asfaltbeläggningens kamp mot buller

TkL Nina Raitanen, Tekniska högskolan

Buller är ett stort problem i världen. Buller över 55 dB, som redan är ett hälsoproblem för människor, hotar över 80 miljoner människor i EU. Man har redan kämpat mot buller med traditionella vapen. Bullerskärmar och -vallar finns utmed vägarna och man kan vägleda bilar till mindre känsliga områden, men de här vapnen är bara för försvarskamp. För att lösa problemet måste man anfalla orsaken till buller.

Buller från bilar har två huvudkällor: motorbuller och buller från interaktionsprocesser mellan däck och vägbana. Den sistnämnda källan är dominerande redan när hastigheten överstiger 30 km/h. Bilteknologin kämpar för tystare bilar med bra resultat men ökande trafik har nästan ätit upp nyttan. Asfaltbranschen kan ge stöd från sidan med bullerdämpande beläggningar. Nuförtiden finns det olika bullerdämpande produkter som också kan användas här i Norden. Nötningsproblemet är i dag bättre under kontroll också i Finland där man använder dubbar i vinterdäck. Snabb nötning av tysta beläggningar var tidigare ett problem i Finland och de här produkterna fick dåligt ruke. Efter de här ganska dåliga erfarenheterna i slutet av 80- och i början av 90- talet tog Finland en ny start för att utveckla tysta beläggningar. Det treåriga projektet, HILJA, började år 2001. Väglaboratoriet vid Tekniska högskolan var ansvarig för projektets koordinering. Asfaltentreprenörerna Lemminkäinen, Vägaffärsverket, NCC Roads och Valtatie samt fyra byggherrar: Vägförvaltningen och städerna Helsingfors, Esbo och Åbo samt TEKES (Teknologiska utvecklingscentralen) finansierade projektet. Efter HILJA-projekt har jag fortsatt forskningen vidare.

För att testa olika typer av produkter i verkliga förhållanden, byggde entreprenörerna tillsammans 50 testsektioner på sju olika vägar. Informationen om proportioneringsdetaljer var hemlig. För att inte behöva träta om vems produkt som är den tystaste måste man ha metoder för att mäta detta och det var det viktigaste syftet med projektet.

SPB (statistik mätningssmetod)- metoden använder man också utomlands för typtestning av tysta beläggningar. CPX (vagnmätningssmetod)- metoden är i alla fall snabbare och kanske lättare att göra så vi testade också den. Med SPB- metoden borde vi mäta 100 bilar och 80 lastbilar. Ganska snart lärde vi oss att det inte körde tillräckligt lastbilar testvägarna. Under en timme mätte vi högst tio lastbilar. Det var bestämt att SPB- metoden skall utföras utan lastbilar i Finland och metoden kallas SPB_{mod}. CPX- metoden har ingen färdig internationell standard men i utkasten av den rekommenderas att fyra olika däck representerande olika biltyper borde användas. I Finland använde vi ett slitet däck. Ett av de fyra rekommenderade däcken kunde inte köpas. Man hade också gjort mätningar tidigare med samma metod vid Tekniska högskolan och nu kunde vi jämföra resultaten. Denna metod kallas CPX_{mod}.

SPB- metoden används i andra länder för att typtesta tysta beläggningar. Korrelationen mellan SPB_{mod} och CPX_{mod} kalkylerades och syftet var att ersätta SPB_{mod}- metoden med den snabbare CPX_{mod}- metoden. Resultaten var lovande men de här två metoderna kunde inte ersätta varandra med varje beläggningstyp. Mera information behövdes för att CPX_{mod}- metoden skulle kunna användas utan SPB_{mod}- metoden.

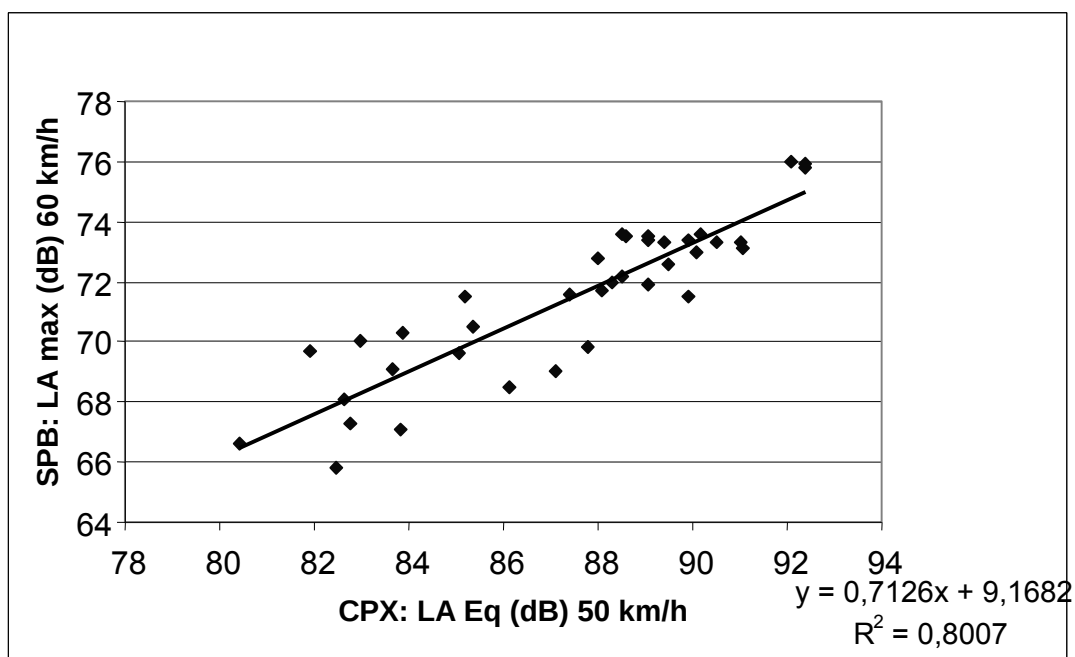


Bild 1: Korrelationen mellan CPX_{mod} - och SPB_{mod} - metoderna.

Entreprenörerna fick erfarenheter av sina produkter och de var ganska lovande. Beläggningarna var relativt tysta också efter två vintrar. Rädslan för att vinterdäck skulle öka bullret vinter efter vinter var onöjd. De bullerdämpande beläggningarna jämfördes med referensbeläggningen som var SMA 16. Beläggningen var bedömd "tyst" om den var 3 dB tystare än referensen, 3 dB minskning motsvarar en halvering av trafiken.

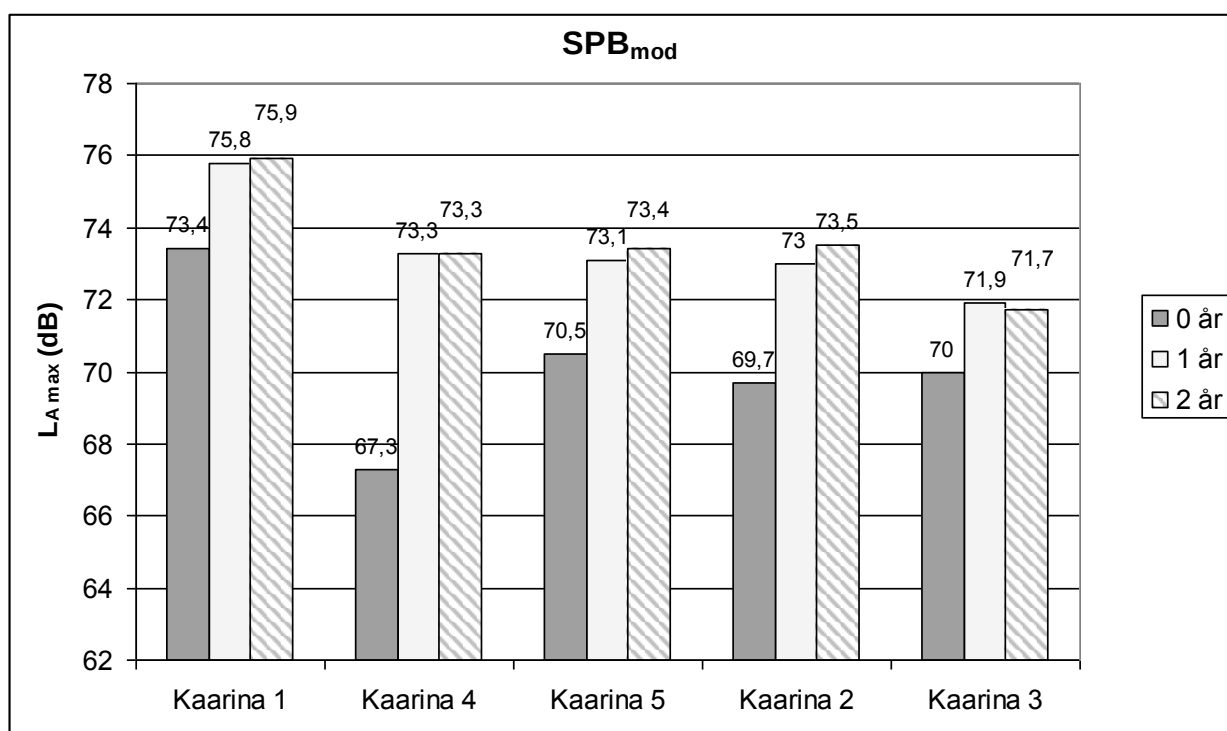


Bild 2: SPB_{mod} - resultat efter ett och två år (Kaarina- testvägen).

Referensen vid SPB_{mod} -metoden var 72,5 dB_{(A)max} med hastighetsbegränsning 50-60 km/h. För andra hastighetsbegränsningar skall referensbullret mätas i år.

Slitage- egenskaper mättes med laserprofilmeter. De bästa beläggningsarna nöts nästan lika litet som referensbeläggningsarna vilket var en positiv överraskning. Några beläggningsarna, som hade bra motstånd mot slitage, dämpade också buller utmärkt väl.

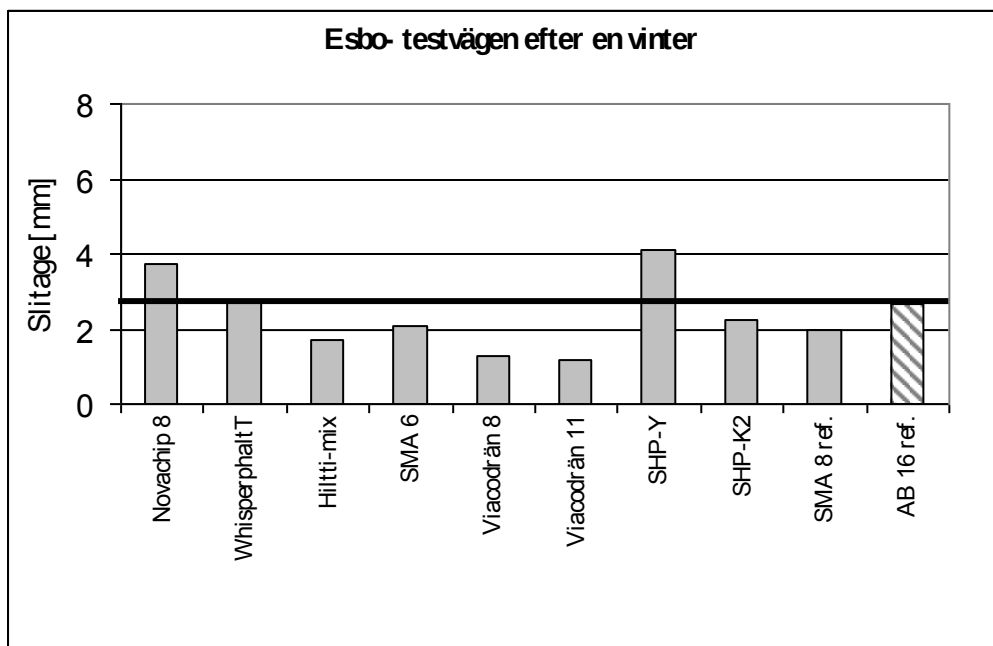


Bild 3: Slitage av tysta och referensbeläggningsarna.

ISO- standarden för SPB- metoden och utkasten för CPX- metoden kräver att mätningarna måste utföras när lufttemperaturen är 5-40 °C. Temperaturkorrektion rekommenderas men ingen formel ges.

I södra Finland innebär temperaturkraven att mätningarna kan utföras ungefär från slutet av april till slutet av september. Tekniska högskolans laboratoriet för bilteknik mätta några beläggningsarna varje månad två somrar. Dessa beläggningsarna var inte HILJA- testvägar. Vi kan se att variationen mellan månader är anmärkningsvärd.

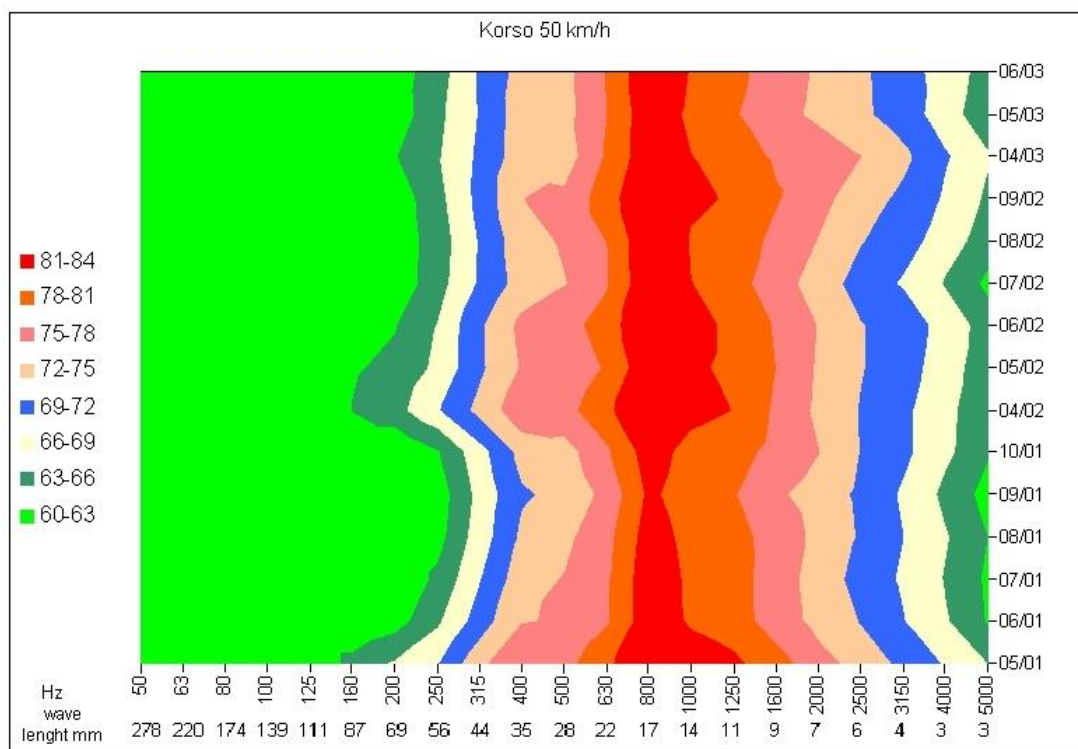


Bild 4: 1/3 oktav analys på en desibelkarta. Periodisk variation av låga frekvenser kan ses. /Sainio, P. (2003)/

Inom sommarmånaderna var den månatliga variationen ungefär 0,56 dB(A). Utom de här månaderna var variationen mycket större. Variationen mellan årstider är stor så väl i Finland som i Norden och det innebär också att beläggningarnas bulleregenskaper varierar. Detta fenomen kan vara en följd av många saker, t.ex. dubbar i vinterdäck, mjukning av bitumen under sommaren etc. Det måste forskas mera men nu kan vi i alla fall säga att mätningfönstret här i Norden är smalare än i Södra Europa. Det kan inte bli definierad endast med lufttemperatur. I HILJA- projektet rekommenderar vi att mätningarna borde göras bara i juni, juli och augusti. Jag vill tillägga att i Lappland kanske bara i juli.

Temperaturkorrektionen är också viktig. Det finns inte så många dagar på sommaren när vi kan mäta i referenstemperatur (20°C). Någon temperaturkorrektion är bättre än ingen korrektion alls. Jag har räknat SPB_{mod} - resultatet på tre olika sätt. Temperaturkorrektionen var gjord med väg-, luft- och väg+luft- temperaturerna. Resultatet var att alla de här metoderna gav nästan samma resultat.

I Finland är kampen mot buller med beläggningar just i början men nu efter HILJA har vi lärt mycket om vår fiende, buller. Våra vapen, beläggningarna fungerar, och vi har också metoder för att testa och utveckla tysta beläggningar. Kampen går vidare!

Referenser:

Kelkka, Marko; Hyyppä, Ilmo; Raitanen, Nina; Valtonen, Jarkko; Sainio, Panu: Hiljaiset päällysteet- tuotevaatimukset ja mittarit (HILJA slutrapport). Esbo 2003

Sainio, Panu: NOTRA®- noise trailer in pavement evaluation measurements. HUT, Laboratory of Automotive Engineering. Esbo 2003

3. FORSKNINGSPROJEKT SOM PRESENTERATS VID FÖRBUNDS- UTSKOTTSMÖTET I TÓRSHAVN 2005



Asfaltutskottets forsknings- och utvecklingspris 2005
Efter omröstning bland medlemmarna i förbundsutskottet
utsågs Mats Gustavsson från Sverige till 2005 års mottagare
av Beläggningsutskottets forsknings- och utvecklingspris.



Asfaltdekker på flyplasser i Norge Status på utvikling 1990-2005

*Geir Lange
Senioringeniør
2005-05-27*



Innhold

1 Innledning	1
2 Avinors banesystem	1
<i>Flyplasser</i>	1
<i>Areal og gjenskaffelsesverdi</i>	2
<i>Levetid</i>	2
3 Utforming av flyplasser og utvikling av flylaster	3
<i>Regelverk</i>	3
<i>Krav til utforming</i>	3
<i>Flytyper til 1990</i>	3
<i>Flytyper i dag</i>	3
4 Tidligere dekkevalg	5
5 Aldring av asfaltdekker	5
<i>Litteraturstudie</i>	5
<i>Erfaringsinnsamling fra norske flyplasser</i>	5
<i>Værometer</i>	6
6 "Nye" dekkevalg	7
<i>Nye dekkevalg i 1992</i>	7
<i>Problemer med de nye dekkevalg fra 1992</i>	7
<i>Oppsummering nye dekkevalg pr 1995</i>	8
7 Preventivt vedlikehold	9
<i>Aktuelle tiltak for lufthavner</i>	9
<i>Strategi fra 1995</i>	9
<i>Oppfølging av asfaltdekker med PV</i>	9
8 Bindemidler	12
<i>Eksisterende standarder</i>	12
<i>Nye funksjonsrelaterte beskrivelser for bindemidler</i>	12
9 Pavement Management System	12
<i>Nye PM systemer</i>	12
<i>Flyplassseiers behov</i>	13
<i>Luftfartsverkets valg</i>	13
10 Kjemikalier	14

11 Rilling	16
12 Overflateegenskaper: Våtfriksjon eller tekstur.....	17
<i>Innledning</i>	17
<i>Våtfriksjon</i>	19
<i>Tekstur- Ruhet</i>	20
<i>Avsluttende kommentarer vedrørende overflateegenskaper</i>	22
13 Fremtidige kontrollparametre	23
<i>Kontroll av funksjonskrav for asfaltdekker på flyplasser</i>	23
<i>Tekstur og separasjon</i>	24
<i>Jevnhet 3 m og 45 meter</i>	25
<i>Tverrfall</i>	26
<i>Resultater fra siste års kontrakter</i>	26
14 Sluttkommentar	30
15 Vedlegg.....	30
<i>Surface Photos, Macro Texture History and Friction of O. Kollerud Test track</i>	31
<i>Kunngjorte surface type på norske rullebaner</i>	32
<i>Asphalt Institute rejuvenators</i>	34

1 Innledning

Avinor, tidligere Luftfartsverket har gjennom de siste 15 årene jobbet aktivt med utvikling av dekketyper for flyplasser, spesielt rullebaner hvor kravene til en funksjonsdyktig overflate er svært viktig. Flysikkerhetsmessig er de største farene løse partikler som kan gå inn i flymotorene å forårsake alvorlige skader eller i verste fall motorhavari.

Asfaltdekker på flyplasser er i utgangspunktet det samme som for veger men det er noen faktorer som medfører en noe annen fokus på asfaltmassen:

- Høye hjullaster
- Støvfri overflate
- Liten trafikk
- Gode overflateegenskaper

Denne rapporten gir et sammendrag av det arbeidet Avinor har gjort på dette feltet og gir til slutt en oppstilling av dagens krav til rullebaner med asfaltdekke.

2 Avinors banesystem

Flyplasser

Avinor (Luftfartsverket) eier og driver 45 lufthavner i Norge inkludert OSL AS som er et heleiet datterselskap av Avinor.



Figur 1 Avinors flyplasser

Av disse har vi drift og vedlikeholdsansvaret på samtlige arealer utenom Andøya hvor Forsvaret eier og driver rullebanen.

Areal og gjenskaffelsesverdi

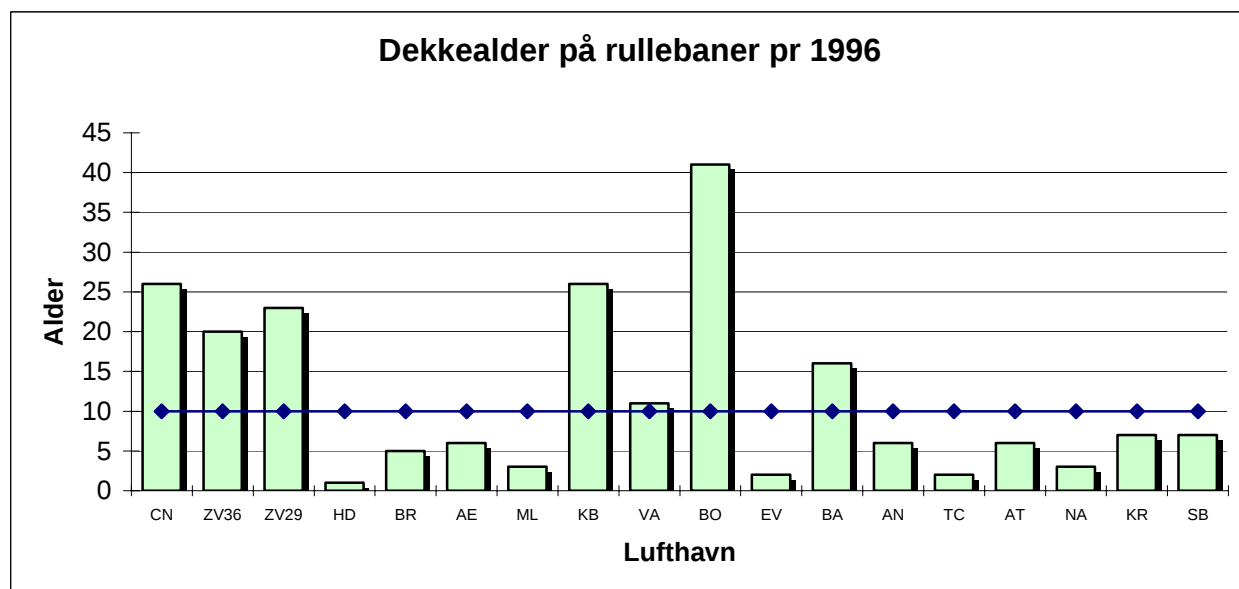
I forbindelse med overgang til AS i 2003 satte Avinor opp en oversikt over verdi, gjenskaffelsesverdi over eiendommer, banesystem og tekniske anlegg. Figur 2 viser en oversikt over arealer og gjenskaffelsesverdi for banesystemene.

	Areal m ² manøvrerings område	Gjenskaffelses- verdi mnok
Stamruteplasser banesystem		3 394
Diverse anlegg	inkl	223
Sum Stamrute	3 773 850	3 617
Regionale plasser banesystem	1 318 150	1 141
SUM TOTALT	3 773 850	4 758

Figur 2 Areal og gjenskaffelsesverdi

Levetid

I 1996 var gjennomsnittlig levetid på rullebaner 10 år. Den eldste var 26 år og den yngste 1 år. Verdt å merke seg er at Bodø som da var 41 år men denne er i betong.



Etter at kortbanenettet ble overtatt i 1997 har levetiden blitt redusert noe som følge av dårlig underbygning på disse banene og dermed økt vedlikeholdsbehov.

Lufthavn	Asfaltert	Reasfaltert	Dekketype	Levetid
Flesland	1969	1992	Ab 11	23
Vigra - vestre del	1981	1990	Ab 11	9
Vigra - østre del	1972	1990	Ab 11	18
Kvernberget	1971	1998	Ab 11	27
Tromsø	1983	1994	Ab 11	11
Tromsø plattform	1964	1996	Ab 8 ?	32
Fornebu	1973	1988	Da 11	15
Fornebu	1988	1994	Da 11	6

Figur 3 Levetid på et utvalg rullebaner i 1998

3 Utforming av flyplasser og utvikling av flylaster

Avinor er tilsluttet FN's sammenslutning for flyplasser gjennom Internasjonal Civil Aviation Organisation ICAO. Det er i dag ca. 190 stater som er tilknyttet ICAO.

Regelverk

ICAO utarbeider retningslinjer for utforming og drift av fly- og helikopterplasser. Gjennom sitt Annex 14 – Aerodrome Design Manual, settes de anbefalinger og noen krav til utforming av flyplasser avhengig av flytyper som skal bruke disse. I Norge er disse anbefalingene nedfelt gjennom Luftfartsloven og de retningslinjer som er satt av Luftfartstilsynet gjennom "Bestemmelser for sivil luftfart".

På lik linje er det satt krav til flyprodusenter og -operatører gjennom "Joint Aviation Regulation". Her er det bl.a. gitt krav til minimumsinformasjon pilotene må ha for å trafikker en lufthavn med den aktuelle flytypen.

Krav til utforming

For større flyplasser som trafikkeres av jetfly gjelder kravene til baner over 1600 m og for mindre flyplasser som trafikkeres av turbopropfly gjelder kravene for <1200 m rullebaner.

Felles for disse er følgende:

Krav	Stamruteplasser > 1600 m	Kortbaneplasser < 1200 m
Styrke	Sterk nok til å motstå de påkjenninger som opptrer på plassen	
Jevnhet kort	3 mm på 3 m rettholt	
Jevnhet lang	25-30 mm på 45 m rettholt avhengig av flytype	
Tekstur	1,0 mm eller Slamasfalt / riller	
Tverrfall	1,5%	2,5 %
Friksjon	Tilstrekkelig friksjonsegenskap når banen er våt	
Bredde	45 m	30 m
Skuldre	2 x 7,5 m	Nja

Figur 4 krav til utforming av flyplasser

Flytyper til 1990

Norske flyplasser har vært "heldig" opp gjennom tidene når det gjelder belastninger. Med unntak av de fire store plassene var alle trafikkert med fire flytyper i to klasser;

Enten B737 og DC 9 , eller Twin Otter og Dash 7.

De to førstnevnte trafikkerte stamrutenettet og hadde en max take-off weight på ca 45 tonn, dvs hullast på 10 tonn.

De to sistnevnte trafikkerte kortbanenettet med rullebaner på 800 m og hadde en vekt på henholdsvis 6 og 10 tonn; hullast på 2,5 - 3,5 tonn.

Trafikken var også lav og hovedregelen var at det var kun et fåtall bevegelser pr dag.

Så sporing, etterkomprimering, slitasje, polering var ikke et problem på norske flyplasser.

Flytyper i dag

Utvikling av flytyper og ikke minst bruken av flere flytyper på norske lufthavner har skutt fart de siste 20 årene. Mens flyplassnettet tidligere var trafikkert av ensartet flymix er det i dag flere varianter og større laster som utgjør påkjenningene på våre lufthavner.

For en sammenligning mellom flyplass og veg er noen data fra Oslo (Fornebu og E18) vist i figur 4



•Totalvekt	396 tonn	50 tonn
•Ringtrykk	1,9 MPa	0,9 MPa
•Last pr. hjul	27,5 tonn	5 tonn
•Lastrepitisjoner	100.000 pr år	25.000 pr døgn

Figur 5 Laster på flyplasser og veg

SAS og Braathens SAFE har de siste årene også tatt i bruk nye flytyper. Det startet med Braathens' introduksjon av B 737-400 i 1993 som hadde en MTOW på 67 tonn (17 tonn økt last). I de siste år har SAS fulgt opp med introduksjon av B737-800 som har en MTOW 79 tonn. Fortsatt samme hjulkonfigurasjon. Dette vil si at hjullastene har økt fra 10 til 17 tonn, noe som også har satt sine spor i banesystemet.



Figur 6 Konsekvenser av økte hjullaster på større lufthavner

Videre er bruken av wide-body fly økt på det norske flyplassnettet. A320, A330, B767 og B747 har alle store totallaster mens enkelthjullasten ligger for alle mellom 15 og 17 tonn. De verste flyene er fortsatt A340 og DC10 som har enkelthjullast på 27 tonn. Selv om disse ikke er vanlige i Norge, trafikkerer de OSL, Stavanger, Bergen og Trondheim lufthavner regelmessig.



Figur 7 Hjulunderstell til B777 og ingeniør

4 Tidligere dekkevalg

Frem til 1990 var standardvalget for asfaltdekker på rullebaner som følger:

- Massetype Ab 11
- Bindemiddel B180
- Bitumeninnhold 5,6%
- Overflatetiltak Freste riller

Som nevnt under pkt 2.3 hadde denne standardresepten en levetid på ca. 15 år.

Flyplasser generelt og i Norge spesielt kjennetegnes av få overfarter og utpreget aldriingsproblem. Tørre baner med steinløsning var hovedregelen rundt 1990.

5 Aldring av asfaltdekker

Avinor startet derfor FoU-prosjektet "Aldring av asfaltdekker" for å komme frem til nye dekketyper med lengre levetid enn Ab 11 med 5,6% B180.

Dette var et 3 års prosjekt hvor vi engasjerte SINTEF. Arbeidet var ble delt i tre hoveddeler:

- Litteraturstudie (som vanlig!) og erfaringsinnsamling fra norske flyplasser
- Værometer for utprøving av "nye" dekketyper
- Fase II av værometeret for andre massetyper og PmB.

Litteraturstudie

Lang levetid på asfaltdekker krever høyt bindemiddelinnhold, lavt hulrom og god vedheft mellom stein/bitumen.

Utfordringen var å lage tette dekker med høyt bindemiddelinnhold samtidig som plastiske deformasjoner ikke oppstod.

Erfaringsinnsamling fra norske flyplasser

For å bestemme egenskapene til gode og dårligedekker ble det som første ledd i prosjektet tatt prøver fra forskjellige flyplasser med ulikt klima og ulik levetid. Dette spente fra Kjevik til Kirkenes. Av alle tattatte prøver viste plattformen på Tromsø seg og være den som så best ut. Egenskapene til disse dekkene er vist i figur 8.

Lufthavn	Nylagt	Alder	Bitumen Innhold	Hulrom	Penetrasjon	Merknad
Kjevik	1978	13	4,7	4,9	-	Yngst og dårligst
Fagernes	1987	6	5,5	6,1	23	
Molde	1971	20	5,3	5,4	45	
Røros	1984	7	5,9	2,6	57	
Kristiansund	1970	26	6,1	2,8	34	Gamlest og best
Tromsø	1964	27	6,5	2,8	89 !	
Kirkenes	1989	12	5,4	3,3	70	

Figur 8 Egenskaper til ulike asfaltdekker

Så igjen, dekket med lavt hulrom, høyt bindemiddelinnhold og lite D_{maks} viste seg å ha best levetid.

Værometer

For å prøve nye dekketyper ble klimaskap (værometer) hos NBI leid for å simulere aldring av asfaltdekker og innvirkning på bindemiddelinnhold og massetype. Værometeret benyttes for testing av takpapp og aldringsutviklingen i værometeret tilsvarer normal aldring på 5-10 år i Trondheim for takpapp.

Værometeret simulerer sommer og vintertemperaturer fra + 60° til -20° og de ble kjørt i daglige sykluser. I tillegg ble det påført vann en gang pr dag for å simulere regn. Forsøket pågikk i tre måneder noe som altså tilsvarer 5-10 års aldring.

Første runde var 25 prøver der vi benyttet Ab 11 med ulikt bindemiddel og ulikt bindemiddelinnhold. I tillegg ble det tilsatt polymer og cellulosefiber i noen av prøvene.

Dette viste at om vi tilsetter polymer eller cellulosefiber vil dekket tåle langt høyere bindemiddelinnhold. Dette ble verifisert etter værometer testen ved at kjerneprøver ble uttatt fra alle prøver og stabilitet målt.

En annen faktor som ble vist var at B180 tilsatt polymer fra tre ulike leverandører oppførte seg helt forskjellig.

Runde 2 i værometeret ble kjørt etter samme testsyklus men nå ble ulike Ska masser benyttet.

Her viste resultatene at Ska tåler mer bindemiddel enn Ab masser ved at bindemiddelfilmen rundt tilslagsmaterialene er tykkere. I Ska skal cellulosefiber benyttes men det ble også her testet med PmB.

Konklusjoner fra disse værometerforsøkene:

- Høyt bitumeninnhold øker levetiden
- Ab tilsatt cellulosefiber eller polymer tillater høyt bindemiddelinnhold i asfaltmassene uten at stabilitet forringes.
- Lav penetrasjon medfører oppsprekking i overflaten som følge av lave temperaturer.
- Bruk av bitumen i klassene B180 kan gi svært forskjellig levetid i felt. B180 er ikke B180 – polymer er ikke polymer
- Ska masser har god levetid.

6 "Nye" dekkevalg

Nye dekkevalg i 1992

Resultatene fra Aldring av asfaltdekker anbefalte grove dekker med høyt bindemiddelinhold. Tidligere praksis med fresing av riller medførte akselererende steinløsning og LV ønsket å gå vekk fra dette samtidig som overflateegenskapene var tilfredstillende og at nye dekker skulle forhindre vannplaning på flyplasser.

Det ble derfor valgt Ska masser med cellulosefiber og polymer der klimaet tilsa dette.

For å prøve ut i større skala ble første flyplass med ny dekketype Ørsta/Volda lufthavn. Her ble det lagt en Ska 11 for å se om overflaten var tilfredstillende for å forhindre vannplaning. Banen ble asfaltert i 1992 men det oppstod enkelte partier med separasjon og tett overflate noe som var bekymringsfullt med tanke på vannplaning og stopplengder.

For Molde ble det i 1993 valgt Ska 16 for å sikre god friksjon.



Figur 9 Molde lufthavn Ska 16

Problemer med de nye dekkevalg fra 1992

6.1.1 Skjelettasfalt

Faren for separasjon i Ska dekker var større enn for tette Ab dekker. Dette krevde god oppfølging under asfaltering og riktig håndtering av massen. Etter at Molde var asfaltert med Ska ble også Banak, Tromsø og Evenes lagt de påfølgende år. Her var det flere partier med separasjon noe som gjorde at vi satte spørsmålstegn ved bruken av denne massetypen.



Figur 10 Evenes med tydelig separasjon

6.1.2 Asfaltbetong

Aldringsprosjektet hadde som nevnt vist at med tilsetning av cellulosefiber kunne bindemiddelinnholdet økes uten at plastisk deformasjon ble opptredende. Dette gjorde at i beskrivelsene ble det benyttet 6,5% bindemiddelinnhold også på Ab dekker som skulle legges på plattformer og noen taksebaner. Hvorfor dette ikke skjedde i praksis ved et par tre tilfeller vites ikke men resultatet på plattformene på Molde og Tromsø viser tydelig at noe er i gjerde.

Her har – tross beskrivelse av cellulosefiber – det ikke blitt benyttet selv om bindemiddelinnholdet er høyt.



Figur 11 Plastisk deformasjon

Oppsummering nye dekkevalg pr 1995

Problemene vi så med Ska dekker var i første rekke utførelsesmessig. Grove tilslagsmaterialer var lett å få separasjon i, skjøter ble problematiske og glatte partier medførte krav om utbedringstiltak dersom disse lå nært senterlinjen på rullebanen.

Et annet moment var at det lett oppstod vrideskader på Ska dekker der flyene snudde på rullebanen. Dette medførte at mindre vedlikeholdstiltak måtte gjøres hyppigere.

Bindemiddelinnholdet kan økes og dermed øke levetiden for dekket. Imidlertid kunne vi ikke, som det i datidens asfaltretningslinjer sa, at bindemiddelinnhold kunne være så høyt som mulig bare kravene til stabilitet ble oppnådd. For plattformen på Tromsø ble asfaltresept godkjent med 6,9% bindemiddel krav til stabilitet var ok, mens plattformen ser ut som plattformen på Molde (Figur 13).

Et tiltak som ble gjort for å redusere separasjonen var å gå over til Ska 11 masser. Disse hadde lavere ruhet men fortsatt i henhold til ICAO Annex 14.

Av banene som allerede var lagt med Ska 16 var Molde, Evenes, Tromsø, Kjevik i tillegg til østre bane på OSL som var sendt ut på tilbudskonkurranse ved Ska 16 som beskrevet dekkevalg. For Vadsø, Vardø, Hasvik, Sørkjosen, Haugesund, og vestre bane på OSL ble sendt ut med Ska 11 som valgt dekketype.

7 Preventivt vedlikehold

Aktuelle tiltak for lufthavner

Omtrent samtidig med oppstart av aldring av asfaltdekker begynte Luftfartsverket å prøve forseglingstiltak for å erstatt oksidert bindemiddel i toppen av overflaten på asfaltdekkene. Dette var i hovedsak bitumenemulsjon tilsatt rejuvinators som skal trenge ned i og myke opp bindemiddelet for så å fylle på med nytt.

Rejuvinators har vært upopulært i Norge – og det er vel naturlig.....

I Sverige startet Luftfartsverket Teknik i 1990 et SBUF prosjekt vedrørende preventive vedlikeholdstiltak. Dette prosjektet ble tatt frem for å se på egnethet til Forseglinger og Slamasfalt til flyplasser og lavtrafikkerte veger. LV deltok i dette arbeidet for å samle erfaringer da det var lite fokus på dette i Norge.

Ulike Slamasfaltbelegninger ble lagt med ulikt utgangsbindemiddel i emulsjonen og nye krav i forhold til retningslinjene i Norge ble benyttet av LV.

LV benyttet Slamasfalt som preventive vedlikeholdstiltak 1992 - 1996. Det ble lagt på plattformer og rullebaner på kortbaneplasser, men produktet har imidlertid utspilt sin rolle i Norge da markedet var for lite (LV med <100 000 m² pr år), og kostbart utstyr. Produktet priset seg ut og benyttes ikke lengre.

Forseglinger var det andre hovedtemaet. På Strengnes Flygfelt ble det lagt knappe 20 ulike forseglinger med referansestrekninger for hvert produkt. Oppfølging gjennom tre år av VTI og SP medførte at fire produkter viste å ha positiv effekt på aldringsutviklingen. To av disse var identiske (to forhandlere) men dette gav et grunnlag for LV i Norge og Sverige til å beskrive forseglinger som inneholder rejuvinators for å øke levetiden. Det er i dag en sunn konkurranse om dette i Skandinavia med tre - fire leverandører til enhver tid.

Strategi fra 1995

Avinor har satt som policy at rullebaner skal forsegles 7 år etter reasfaltering og deretter hvert 5. år. Dersom det er separasjon i dekket fra sist legging skal disse partier mettes med sand og forsegling for å redusere teksturen.

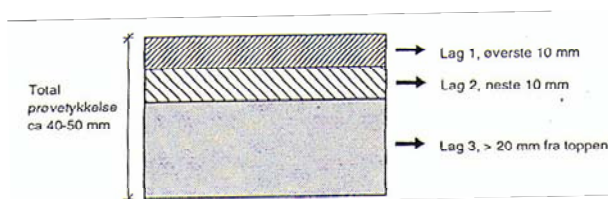
Oppfølging av asfaltdekker med PV

Prosjektet "Oppfølging av flyplassdekkers nedbrytning og tilstandsutvikling over tid" ble startet opp av Luftfartsverket/Avinor i 1993, med formål å vinne erfaringer med skadeutviklingen på flyplassdekker under ulike klimatiske forhold.

I prosjektet har inngått periodisk tilstandskartlegging og prøvetaking på rullebanene på Gardermoen (avsluttet 1998), Molde lufthavn, Evenes lufthavn samt Lakselv lufthavn/Banak. Arbeidene på Banak har vært utført i regi av FBT/Forsvarsbygg.

Høsten 2004 ble de foreløpig siste prøvetakinger og tilstandsregistreringer foretatt på rullebanedekket ved Banak, Evenes og Molde lufthavner. De to sistnevnte har fått regelmessig forsegling med to ulike produkter.

Uttak av prøver er utført fire ganger etter nylegging og analyser på bindemiddelegenskaper er utført på disse for å se faktisk aldringsutvikling. For å se på aldringen i toppen av dekket er prøvene delt i tre lag:



FIGUR 12 Kapping av prøver for bindemiddelgjenvinning

7.1.1 Oppsummering resultater:

Resultater fra bindemiddelanalysene framgår av tabell 4, sammen med data for original bitumen.

Ut fra et normalt aldringsforløp med ordinært bindemiddel vil man forvente å måle konsekvent *økt* viskositet, *redusert* penetrasjon og *økt* mykningspunkt med tiden. Graden av endring vil variere, bli avhengig av dybdenivå (avstand fra overflaten).

Tabell 4 viser at det meste av dette synes å stemme på Evenes. Aldringen skjer tydelig raskest i toppen av dekket; ut fra målt penetrasjon er lag 1 stivere enn lag 2 og 3 for alle prøver. Det kan spores en gradvis reduksjon i hardhet med dybden. Stivhetsøkningen markerer seg også gjennom høyere mykningspunkt og økt viskositet (lavere flyteevne), om enn ikke helt éntydig for disse parameterne.

Profil/lag nr ¹		Penetrasjon ved 25 °C (0,1 mm)			Mykningspunkt (°C)			Dynamisk viskositet ved 135 °C (cPs)		
		1997	1999	2004	1997	1999	2004	1997	1999	2004
500-1000	1	57	45	47	50	52	53	396	488	760
	2	95	97	98	44	45	45	280	294	480
	3	92	95	76	45	45	47	288	322	504
1000-1500	1	60	51	43	49	51	53	392	476	685
	2	87	85	77	46	46	48	302	336	432
	3	94	90	-	45	46	49	300	322	610
2000-2500	1	56	48	49	50	51	52	392	472	515
	2	107	98	108	44	45	44	262	302	362
	3	86	100	-	45	44	-	298	304	-
Originalt bindemiddel		160			40			220		

¹ Lag nr refererer til figur12

Figur 13 Resultater fra bindemiddelundersøkelser Evenes 1997-2004 (toppdekke Ska16 m/B180)

Verdt å merke seg er at det ut fra penetrasjon og mykningspunkt synes det å ha skjedd langt mindre endringer fra 1999 til 2004 enn i perioden 1997-1999. Aldringsutviklingen vil normalt flate ut over tid, men her ser man at det til og med er målt høyere penetrasjon i 2004 enn i 1999.

Dette kan være et utslag av forseglingstiltaket som ble utført i 2002, og viser dermed at dette har hatt noe for seg.

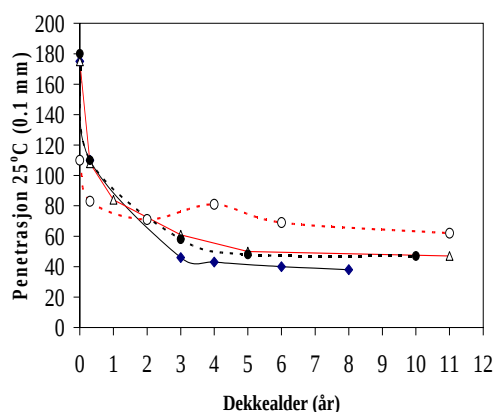
7.1.2 Sammenligning med andre flyplasser:

I tillegg til Evenes har Avinor også hatt tilsvarende prosjekter gående på Gardermoen og Molde lufthavn. Dessuten har utviklingen på Lakselv lufthavn/Banak blitt fulgt opp i regi av FBT/ Forsvarsbygg.

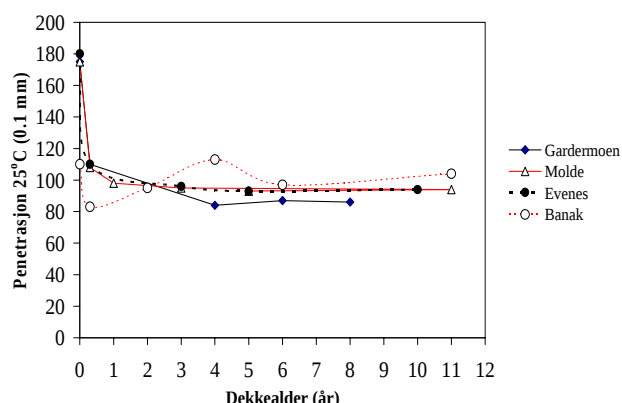
Sammenligner man aldringsutviklingen på Evenes med disse andre flyplassene som har inngått i langtidsoppfølgingen, uttrykt gjennom midlere penetrasjonsverdier, får man et bilde som vist i figurene 17 og 18 (for henholdsvis lag 1 og lag 2).

Flyplass	Alder (siste dekkefornyelse)	Dekketype, bindemiddel	Merknad
Oslo - Gardermoen	1989	Ab11, B180 (grovrillet)	Prosjektet avsluttet 1998, rullebanen reasfaltert
Molde	1993	Ska16, B180	
Evenes	1994	Ska16, B180	
Lakselv - Banak	1993	Ska11, PmB (B250 + SBS)	

Figur 14 Norske flyplassdekker (rullebaner) med langtidsoppfølging av aldringsutviklingen



Figur 15 Gjelder øvre sjikt (0-10 mm)



Figur 16 Gjelder lag 2 (dybde 10-20 mm)

Utvikling i penetrasjonsverdi på rullebanedekkene ved Gardermoen, Molde, Evenes og Banak.

Figur 17 og 18 viser følgende hovedtrekk:

- Utviklingen for de to Ska16-dekkene på Evenes og Molde er identisk!
- Det gamle grovrillede Ab11-dekket på Gardermoen har størst aldring (uttrykt gjennom redusert penetrasjon) av de som er sammenlignet.
- PmB-dekket på Banak "flater ut" på et høyere penetrasjonsnivå i toppen enn de andre dekkene med standard bitumen. Dette til tross for at Banak hadde det stiveste bindemidlet av de fire (men merk tabell 5; basis før SBS-modifisering var B250). Forskjellene er mindre når man kommer lenger ned i dekket (lag 2). Man ser en "oppmyking" fram mot år 4 på Banak-dekket (topp-punkt). Deretter skjer en dropp i penetrasjon og et normalisert aldringsforløp videre. Dette er påvist å samsvare godt med utviklingen i skademønster på denne flyplassen [4].

Fra sluttrapporten vedrørende oppfølging av Molde etter 11 år heter det:

7.1.3 Konklusjon

"Den valgte dekkeløsning synes å fungere svært godt på Molde lufthavn. Etter 11 år kan det nesten ikke spores skader på banen. Preventive vedlikeholdstiltak med bindemiddelforsegling utført i 1997 og 2002 viker å ha hatt god effekt, også på de målte dekke- og bindemiddelegenskapene." Tilsvarende konklusjon gis for Evenes lufthavn."

8 Bindemidler

LV så etter erfaringene med de ovennevnte prosjekter at bestilling av en penetrasjonsklasse ikke var tilstrekkelig til å sikre gode bindemidler som gav lang levetid og gode aldringsegenskaper.

Eksisterende standarder

Som nevnt ble det benyttet B180 på de aller fleste lufthavnene. Unntaket var Fornebu som på grunn av stor trafikk og høye sommertemperaturer fikk plastiske deformasjoner. Her og på Fagernes – helt uten sammenligning – ble det benyttet B85.

Første dekke i Norge med PmB var Banak og senere Bardufoss lufthavner. Her ble det spesifisert B250 med 6% SBS polymer. Disse dekkene har holdt meget godt.

I Aldringsprosjektet derimot viste det seg at tre bindemidler med 6% SBS gav helt ulike penetrasjonsindeks. Alle tre tilfredstilte kravene i Norge til rent bitumen men egenskapene til disse var altså helt forskjellig.

Nye funksjonsrelaterte beskrivelser for bindemidler

SHRP-prosjektet i USA tok frem nye testmetoder for bindemidler og derigjennom nye krav. Ideen med å beskrive og teste høy og lavtemperaturegenskapene til bindemiddelet var noe LV ville benytte. I 1994/95 ble bindemidler som deltok i aldringsprosjektet klassifisert i henhold til PG-klasse og her igjen viste de store forskjeller.

Banak bindemiddelet ble klassifisert som en PG 64-34
Bardufoss ble klassifisert som PG64-28

Tilsvarende ble tre B180 klassifisert som henholdsvis PG 52-28, PG46-28 og PG 52-22

Diskusjonen omkring nye metoder og lite erfaring er alltid til stede – for PG klasser diskuteres det fortsatt men de siste forslagene i PROKAS i Norge går på å bestemme lav og høytemperaturegenskapene til bindemidlene.

9 Pavement Management System

Nye PM systemer

I 1988 startet et samarbeid med NTH vedrørende flyplassdekker generelt. Dette var for å øke kompetansen og interessen ved NTH/studenter til flyplassbygging. Første ledd i samarbeidsavtalen var å utvikle et PMS system tilsvarende det som da var utviklet for veier.

Gjennom to år ble det gjort omfattende arbeid innen dette og prototypen så dagens lys i 1991 der Fornebu ble lagt inn og ulike muligheter ble presentert. Det er mange årsaker til at dette prosjektet ble terminert men en hovedsak var vel brukerterskelen og ikke minst hvem som skulle bruke det. Luftfartsverket trenget et enkelt oversiktlig system for oversikt og for prioritering av investeringsmidlene.

Flyplassseiers behov

Samtaler med Luftfartsverket i Sverige og Finland ble innledet da de var i samme startgrop som LV. Finland hadde startet utvikling av sitt eget system men gikk bort fra avansert databasert system og over på en Finsk tilstandsindeks. I Sverige luktet de på viderutvikling av VegPMS men felles for alle nordiske LV var at slike systemer lett blir for komplisert i forhold til behovet.

Luftfartsverkets valg

LV utarbeidet i 1990 og 1995 en egen tilstandsrapport for banesystemene på stamruteplassene der prioritering og fremtidige investeringsbehov ble satt opp. I 1995 besluttet vi å ta i bruk MicroPaver som er utviklet for flyplasser av FAA og USAir Force. Dette er et gratis program med lav brukerterskel og lite "absolutt nødvendig" input for å sammenstille tilstand og prioritere investeringene.

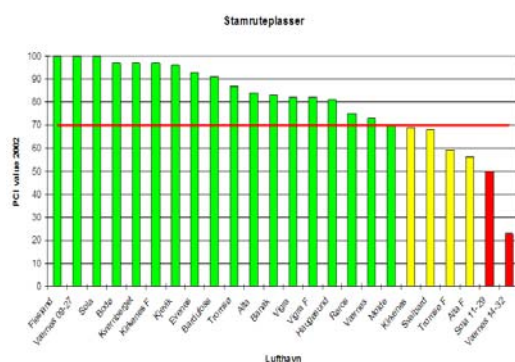
Dette systemet gir en Pavement Condition Index PCI rangert mellom 0 og 100 der 100 er skadefritt dekke.

Inndelingen varierer også for baner med turboprop eller jetfly siden steinløsning er hovedfiende nr 1 for jetmotorer. Systemet baseres kun på visuelle skader så styrkeegenskaper må om ønskelig måles spesielt.

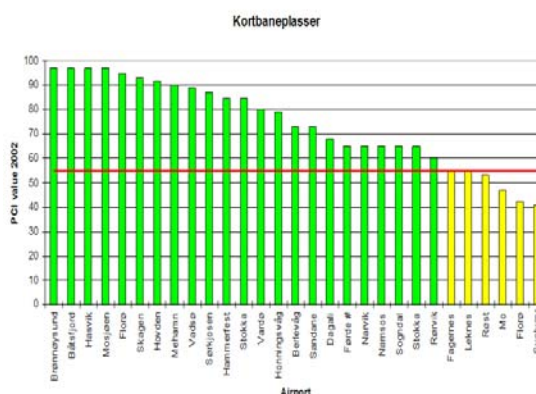


Figur 17 PCI inndeling

Avinors flyplasser er delt i stamrute- og kortbaneplasser tilstanden for disse fordeler seg slik:



Figur 18 RWY Stamruteplasser



Figur 19 RWY Regionale plasser

Som en ser er to rullebaner på stamruteplassene uegnet og derfor steng pr. dato. Sola 11-29 gjenåpnes 1. juli etter omfattende utbedring.

10 Kjemikalier

Luftfartsverket i Norge og Sverige startet i 1997 et fellesprosjekt vedrørende avisingskjemikaliers påvirkning på asfaltdekker.

Problemer vi hadde på Fornebu i 1993-95 og som LV i Sverige hadde på Sundsvall viste seg å være tilnærmet like. Etter høyt forbruk av avisingskjemikalier for baner begynte asfaltdekket å slites rask, enkelte steder gikk asfaltdekket i oppløsning og to år gamle dekker måtte byttes ut.

Prosjektet hadde som hovedmålsetting å løse problemet med avisingskjemikalier. På grunn av kravet fra luftfartsinspeksjonen (senere Luftftrstilsynet) i begge land om "Svarte baner" hele året måtte vi benytte kjemikalier. UREA var frem til tidlig 90-tall benyttet men på grunn av nye utslippskrav fra Forurensingstilsynet/Fylkesmannen kunne ikke UREA benyttes i store mengder.

Safeway og Clearway så dagens lys i 1989 og Clearway ble introdusert på det nordiske og engelske markedet. Safeway på det tyske og franske.....

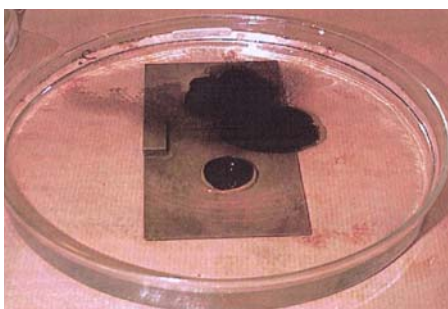
I 1995 kom Norsk Hydro med et annet produkt Aviform som hadde bedre tineegenskaper enn de to konkurrentene.

Arbeidet startet med utprøving av flere testmetoder der kjerneprøver ble satt i kjemikaliebad før testing. Dette arbeidet ble utført ved VTI.

Samtidig tok vi i bruk Værometeret på nytt – det hadde vist realistiske aldringspåvirkninger tidligere og vi tok ut prøver fra nylagte rullebaner på OSL, Angelholm og Landvetter for å kjøre disse i Værometeret der vi tilsatte kjemikalier i fryseperioden.

Resultatene gav seg raskt:

Myke bindemiddel blir påvirket – enkelte komponenter til banelys og på spredeutrustning viste tydelige tegn til rustdannelser.



Figur 20 – To ulike bitumener i deicingsvæske



Figur 21 på Bergen lufthavn måtte banelys rengjøres hver 3. dag!



Figur 22 Gardermøens gamle dekke gikk fullstendig i oppløsning

Fellesnevner for problemområdene var:

- Høyt hulrom i dekket (dårlig utførelse!)
- Høyt forbruk av kjemikalier
- Myke bindemidler (20 år gamle dekker merker ikke dette på grunn av lav penetrasjon)
- Både acetat og Format – ingen værsting

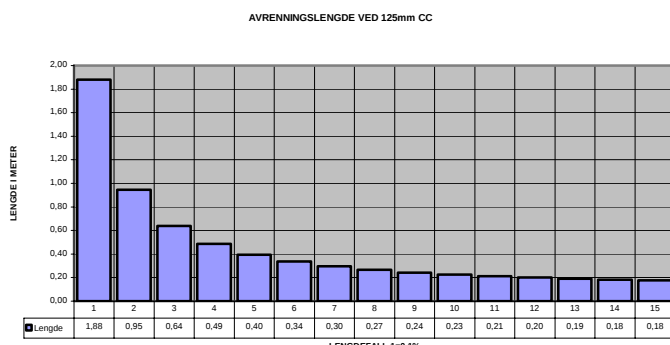
11 Rilling

Rilling (grooving) av dekker på flyplasser ble utviklet i 1965-67 av NASA og FAA og på Wallops Airfield i Chincotique utenfor Washington DC ble ulike rillebredder og –dybde utprøvd. Forutsetningen for utviklingen var å hindre vannplaning på en rullebane uten tverrfall og under kraftig regnfall. Etter prøving av 1, 2, 4 og 6 in valgte man, for å tilfredstille dette kravet, rillemønster på c-c 1,5 in (38 mm) og 4X6 mm sagespor. Dette ble raskt gitt som en standard i FAA og i USAir Force.

Slik rilling spredte seg raskt til Europa, og Norge var også interessert i tiltaket, spesielt på vestlandet med storm og regn. Studieturer ble utført men prisen for saging var svært høy.

Norge valgte i stedet å utføre rillingen med ståltenner montert på en trommel og drevet av en vegskrape. Dette rev opp riller på 15 x 10 mm men det medførte umiddelbar steinløsning på rullebanene og var en uheldig løsning ut i fra asfaltdekkets synspunkt. Første rullebane ut var Vigra i 1972 med gode resultater mens den siste var i 1990, også på Vigra. I mellomtiden over 30 rullebaner rillet på denne måten.

Fra 1990 – 2000 ble ikke noen baner rillet i Norge. Ska skulle ha denne innebygde egenskapen, men etter at kjemikalier ble introdusert og erfaringene med Ska begynte å vise seg ble rilling igjen aktuelt. En egen rillemaskin ble utviklet av Bjarne Kløvning som utførte 3 m bredde og 24 sagblad med c-c 125 mm. Avinor har nå rillet de fleste banene og den umiddelbare fordelene er at kjemikalieforbruket er gått ned med 25-30 %.



Figur 23 – Avrenningslengder vs tverrfall

12 Overflateegenskaper: Våtfriksjon eller tekstur

Innledning

12.1.1 Generelt

ICAO setter krav til flyplassdekker i Annex 14.

Her heter det at dekket skal ha tilstrekkelig friksjon når banen er våt til å gi god bremsevirkning. Dekket skal ha tilstrekkelig tekstur og jevnhet.

Måling av friksjon (våtfriksjon) har vært utført siden lufthavnsjef O Kollerud på Fornebu videreutviklet sin lastebil som han brukte til å måle bremseeffekt i 1955. Han hadde god eller dårlig friksjon som referanse avhengig av hvor raskt bilen stoppet.

Etter dette er det pr dato utviklet ca 50 frisksjonsmålere som har hatt mer eller mindre salgs-suksess. Men hva de måler er fortsatt et uavklart punkt.

12.1.2 "Ottar K. Kollerud Test Track"

Med dette som bakgrunn har det siden 1955 blitt

AVINOR har i de siste syv år jobbet kontinuerlig med problemer relatert til overflateegenskaper på rullebaner. For å finne en løsning, eller forklaring, på det som er omhandlet over, anla Luftfartsverket/Avinor en friksjonsbanen ved Oslo lufthavn i 1997. Dette som en kalibreringsbane for friksjonsmålere. Banen fikk navnet "Ottar K. Kollerud Test Track" etter den tidligere lufthavnsjefen på FBU.

Testbanen har pr dato 9 ulike dekkeoverflater, tilsvarende de varianter vi har på våre rullebaner rundt om i landet og banen ble bygget og brukt til å kalibrere og harmonisere våre 47 friksjonsmålere som benyttes ved lufthavnene.

12.1.3 Aktivitet ved testbanen

Følgende aktivitet er utført på banen etter 1997:

- | | |
|--|------|
| 1. Tire-Surface Friction of Newly Produced Pavements | 1998 |
| 2. Comparison of Two Types of Measuring Tyres for GripTester with BV11 | 1998 |
| 3. Results from a Calibration Workshop Held 25-29 May 1998 | 1998 |
| 4. Durability problems on Nordic airfields the influence of de-icing agents on asphalt concrete pavements | 1998 |
| 5. Harmonising Friction Measures of NCAA Operated GripTesters | 1999 |
| 6. Assessment Report - Friction correlation trials between the GripTester and four ASFT friction measuring machines.
Report No.: ESG-EAS-0249 Cranfield Aerospace -
Environmental Sciences Group | 2000 |
| 7. OKK Friction Profiles of NATAM Operated Friction Measuring
Devices 1998 – 2000 | 2001 |
| 8. Comparison of Pavement Texture Measurement Systems | 2003 |

12.1.4 Test Track Layout

OKK test track ligger langs vestre bane på Gardermoen og består av 8 forskjellige asfalttyper à 100 m lange. Banen er videre delt i 5 kjørefelt (A-E) hvorav det ene feltet (E) er rillet. De 8 dekketypene er vist i etterfølgende tabell:

Surface Code	Asphalt Type	Binder	Mean Texture Depth (mm)
1	AC 11	PG64-34	1.3
2	AC 11	PG64-34	1.1
3	AC 11	PG64-34	0.8
4	AC 8	PG64-34	0.6
5	AC 4	PG64-34	0.3
6	SMA 16	PG64-34	1.4
7	SMA 11	PG 64-34	1.9
8	PFC 11	PG 64-34	2.5*)
Acceleration n	AC 16	PG64-34	
Acceleration s	AC 16	B180	

Asphalt Type Legend

AC Hot mixed asphalt/asphalt concrete

SMA Stone mastic asphalt

PFC Porous Friction Course

4-16 Max chip size in millimetres

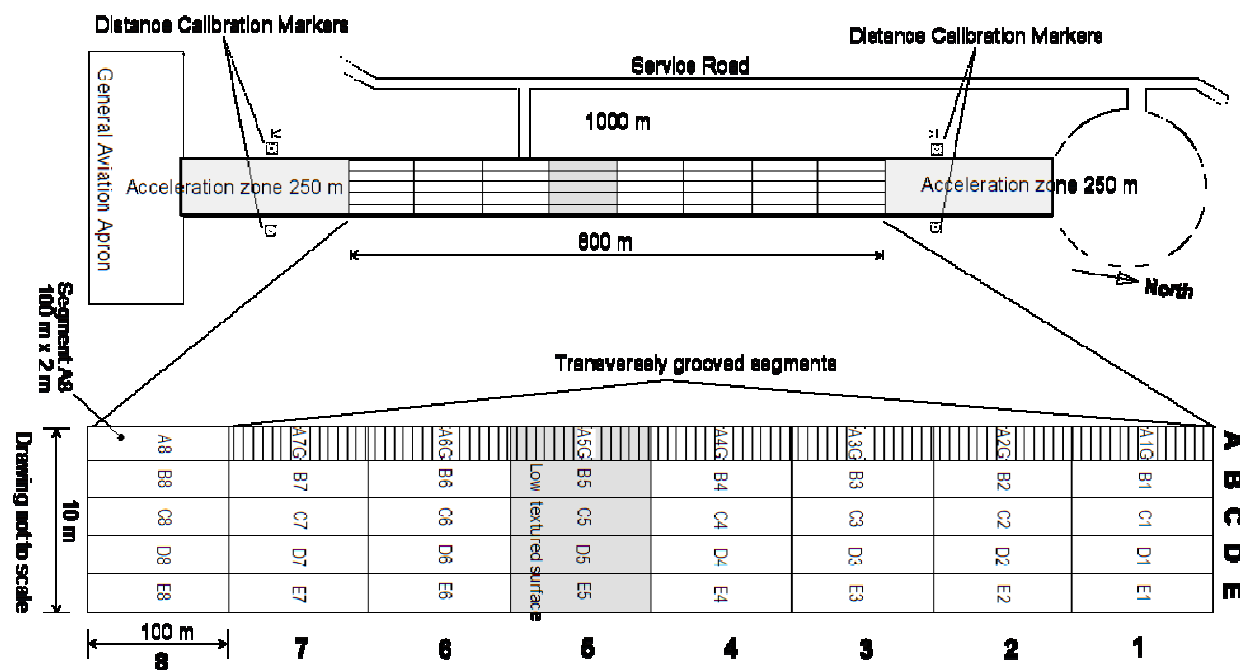


Figure 24 - Schematic drawing of the test track

Våtfriksjon

Norge har meldt avvik i forhold til ICAO vedr. kunngjøring og måling av våtfriksjon på våre rullebaner. Dette basert på usikkerheten omkring måling av våtfriksjon og utstyret som blir brukt. Repeterbarhet og reproducerbarhet er ikke god nok til å kunne stå inne med de verdier som apparatene, selv etter, harmonisering og kalibrering gir.

Figur 2 viser sammenstilling av våtfriksjonsverdier for våre GRIP-testere som benyttes på regionale plasser og BV-11 som benyttes på stamruteplassene. Hver linje er et gjennomsnitt av 6 målinger for hver måler.

X-aksen gjengir overflatetype Hver av de 8 flatene er gjengitt. En måler type viser klart lavere friksjon på en slett overflate mens en annen måler type ikke fanger opp dette

Dette viser usikkerheten ved våtfriksjonsmåling.

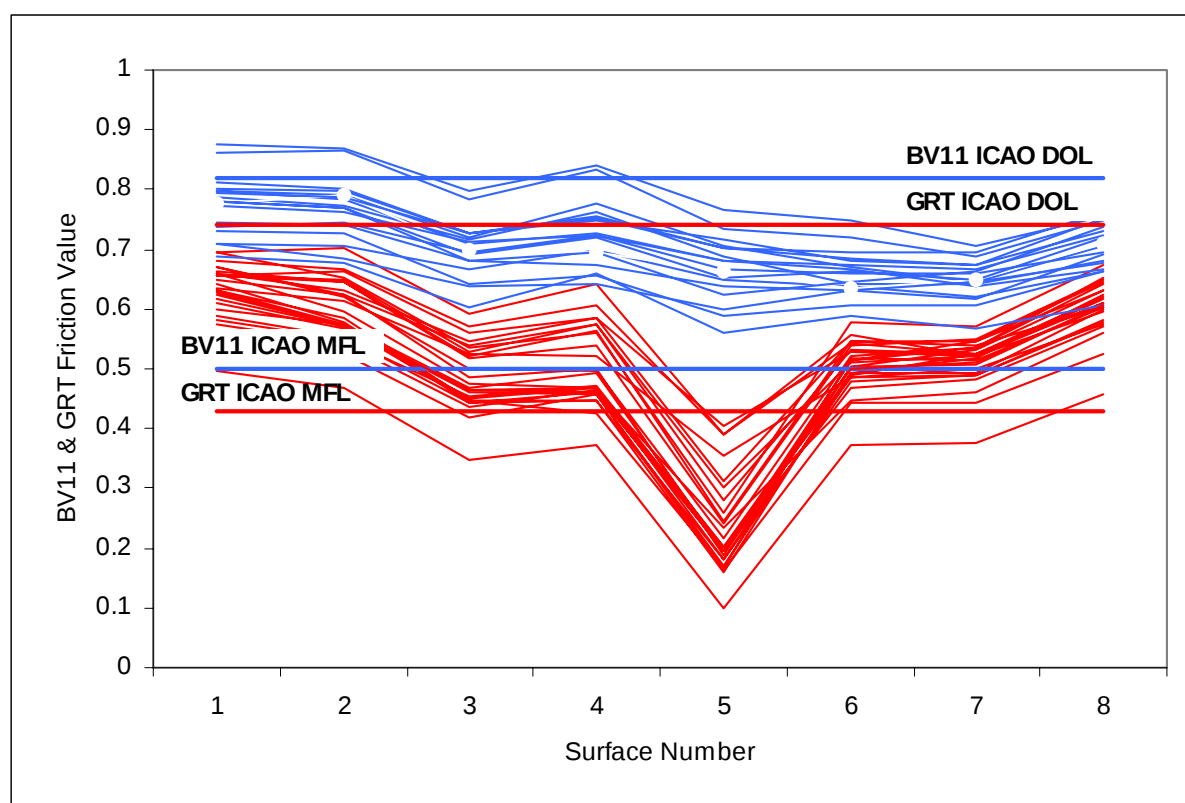


Figure 25 - Summary results from reproducibility study in 1998 of NATAM operated BV11 and GripTester units.
DOL = Design Objective Level og MFL = Minimum Friction Level.

Tekstur- Ruhet

12.1.5 Utvikling over tid

På bakgrunn av dette har Avinor vurdert andre måter å beskrive en rullebanes overflateegenskaper på enn våtfriksjon. Siden Testbanen var bygget i 1997 har vi hvert år målt tekstur og denne viser en utvikling som følger:

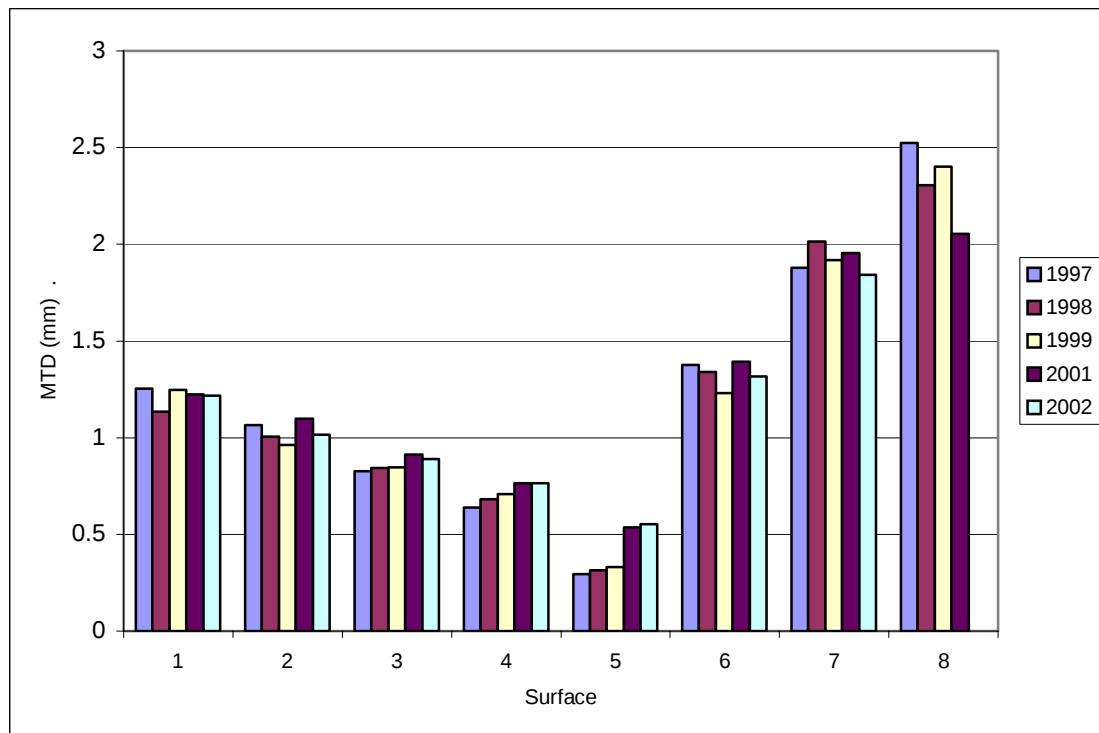


Figure 26 - Mean texture depth for OKK surfaces 1997 - 2002

Det er foretatt en gjennomgang av JAR og FAR regelverk, med underliggende materiale, som benyttes for sertifisering av fly. I JAR 25, som trådte i kraft i 2000, trengs ikke informasjon om våtfriksjonsverdi for å beregne Braking action for fly når teksturen er $> 0,5$ mm. Dersom en bane har $< 0,5$ mm i tekstur, men rilles, vil den havne i samme gruppe som de banene med $> 0,5$ mm.

I 2000 begynte Avinor gjennom "Tilstandskartlegging av banesystemet" regelmessig måling av tekstur basert på manuell metode. Denne teksturverdien samt opplysninger om banen er rillet eller ikke, inkluderes nå i AIP AD 2.12 for hver lufthavn. Vedlagt følger (AIP SUP 03/03 – 16.JAN) med denne informasjonen.

12.1.7 Målemetoder for tekstur

Den manuelle metoden for måling av tekstur er en ASTM-standard E965 og kalles "glassflekk". Denne er brukt til kontroll av asfaltdekker i en rekke år.

AVINOR er medlem i Asfaltteknisk institutt som også har en målebil primært brukt til spor og jevnhetsmålinger for Statens Vegvesen. Etter at vi besluttet og måle tekstur på alle baner måtte vi finne en enklere måte å gjøre dette på. Målebilen har påmontert laser som kan gi teksturverdi. Fordelen med en laser er at det går langt raskere å måle og man får målt hele lengden av banen ikke bare i enkeltpunkter.

Målebilen til ATI ble derfor brukt til å sjekke korrelasjon mellom laser og den manuelle metoden. Dette arbeidet pågikk i 2000 og 2001. Videre fikk vi videreutviklet software til også å kunne registrere riller i dekket og ikke ta disse med i målingene slik at teksturen på overflaten mellom rillene kunne fastsettes.

Basert på målinger høsten 2001 fikk vi svært god sammenheng mellom manuelle målinger (MTD) og Laser (MPD):

MPD vs. MTD Segments 1-7

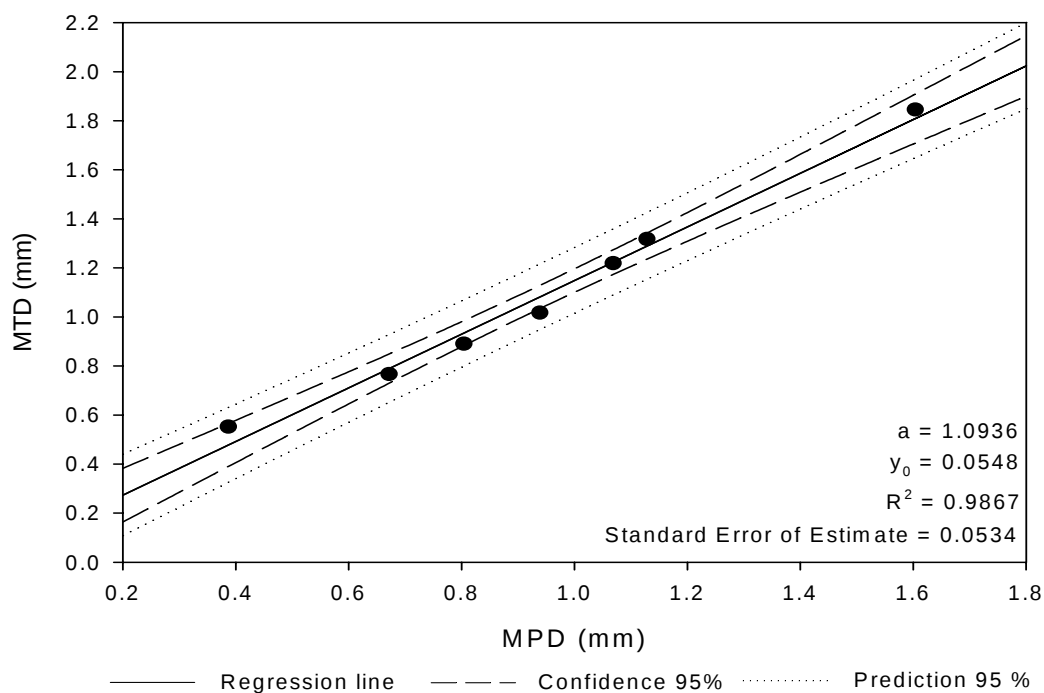


Figure 27 Correlation between MPD og MTD for ATI van

12.1.8 Tekstur Workshop 2002

For å sjekke om dette var tilfelle med kun en måler eller også kunne reproduseres med andre målere, inviterte vi Statens Vegvesen med sine ALFRED-biler til en workshop på Testbanen i April 2002.

Her deltok 7 biler og malinger ble utført på felt med og uten riller for å sjekke reproduser- og repeterbarhet for både laser apparatet i seg selv og softwaren som ble utviklet for å fjerne rillene fra målingene.

Målingene viste at bilene gav samme resultat og dermed kan brukes om hverandre til måling av tekstur. Dette er grundig gjennomgått i rapport 2003-1

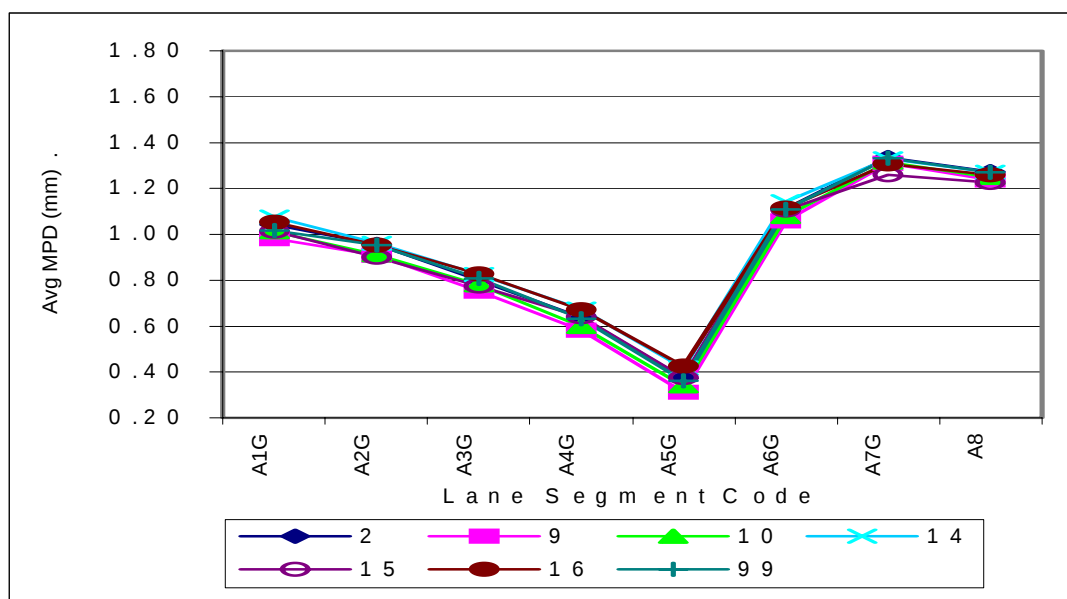


Figure 28 - The series of average MPD per segment of each device shown for lane A

Avsluttende kommentarer vedrørende overflateegenskaper

Målingene 7 april 2002 har vist at det er meget god korrelasjon mellom både manuell og automatisk (laser)måling av tekstur, samt mellom de ulike laserne.

Det hersker stor tvil omkring våtfriksjonsmålinger og det er nå flere som har begynt å se på andre forhold som gir en bedre beskrivelse av overflaten. Kontakt med FAA er opprettet og de er nå i gang med tilsvarende arbeider. Rapport 2003-1 er overlevert FAA til dette formålet.

VTI (Väg och Trafikinstitutet) i Sverige har utarbeidet en rapport om fremtidens målemetoder for vegbygging hvor det konkluderes med at tekstur(mikro- og makrotekstur) er en bedre form for beskrivelse av et dekke enn hva tilfellet er med alle friksjonsmåler typer som i dag finnes.

Vannplaning er noe som fra tid til annen skjer på flyplasser. Det er imidlertid ikke rapportert om slike problemer på norske flyplasser utenom på Kjevik der det i 1988 – 1994 var flere rapporter. Dette viste seg å være ett felt på 20 x 3 m med blødning og som var lokalisert i hjulsporet rett før en taksebane. Her bremses flyene kraftig opp for å "rekke" taksebanen. Det er gjort utallige studier av vannplaning, dekk, hastighet, ringtrykk og dekker.

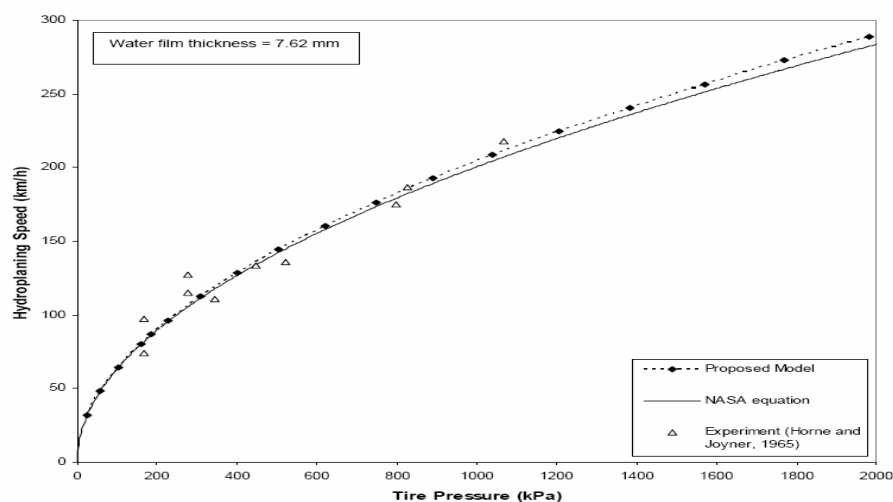


FIGURE 5: Relationship between the tire pressure and the hydroplaning speed

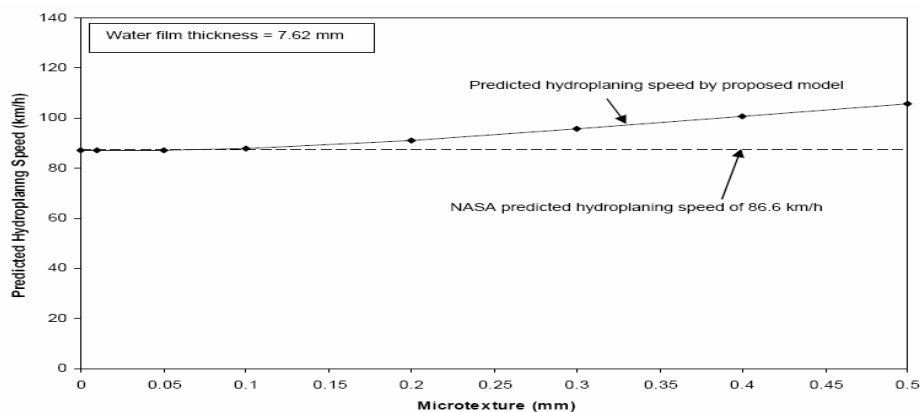


FIGURE 7: Effect of micro-texture on the predicted hydroplaning speed

Figur 29 og 30 – Vannplaningshastighet ringtrykk og tekstur

13 Fremtidige kontrollparametre

13.1 Kontroll av funksjonskrav for asfaltdekker på flyplasser

AVINOR har i de siste syv år jobbet kontinuerlig med problemer relatert til overflateegenskaper på rullebaner. I dette arbeidet har vi gjennom medlemskap i ATI sett på muligheten for å ta i bruk ALFRED til kontroll av nylagte og eksisterende banesystemer.

Arbeidet som er utført av Avinor hatt to innfallsvinkler :

1. Rapportering av overflateegenskaper på rullebaner i henhold til internasjonalt regelverk.
2. Etablere en metode for kontroll av funksjonskrav til asfaltdekker i kontraktssammenheng

ALFRED registrerer spor/jevnheter, tekstur, tverrfall og IRI. For tilpassing til lufthavner var det i tillegg behov for å ta ut ujevnheter både på 3 meter og 45 meter rettholt. Den siste skal dokumenteres dersom langbølgede ujevnheter medfører slagpåkjenning i flyet under avgang/landing. IRI benyttes ikke på flyplasser da en setning på en 2500 m rullebane kan være utslagsgivende for utbedring selv om banen får en meget god IRI-verdi. Det forhold at rullebaner ofte er rillet (saget dresspor på tvers av

lengderetningen for å fjerne alt overflatevann) gjør at eksisterende måleteknikk i ALFRED også tar inn rillene når teksturverdien beregnes.

Avinor inngikk samarbeid med ATI om videreutvikling av software i målebilen for å fange opp teksturverdier mellom rillene og jevnhet på en 45 meter rettholt.

Skal slike målinger være brukendes må dokumentasjon av repeterbarhet og reproducerbarhet foreligge. Dette er gjort gjennom to workshops på Avinors testbane på Gardermoen der 9 ulike dekketyper er lagt, hver på 100 m samt at ene halvdel av en utleggerbredde er rillet. Vi har da muligheten til å prøve ut "rillefilterert" som ble utviklet.

På disse to samlingene deltok 7 ALFRED-biler fra ATI/Statens vegvesen i 2002 mens det i 2003 også deltok biler og måleutstyr fra Japan, Belgia, USA, Sverige og Danmark foruten ATI/SVV.

Resultatene er dokumentert i rapporter som kan fås ved henvendelse til Avinor.

Avinor stiller funksjonskrav til asfaltdekker i sine kontrakter og en raskere og enklere metode for kontroll og oppgjør er nå tatt i bruk. Oppgjør i Avinors asfaltkontrakter for rullebaner skjer etter dokumentasjon gitt ved Alfredmålinger.

På flyplasser, og spesielt på rullebaner, stilles der strenge krav til geometri og disse må kunne kontrolleres og dokumenteres over hele banesystemet. I samarbeid med ATI har Avinor søkt å få kartlegge følgende parametere med hjelp av målebilen:

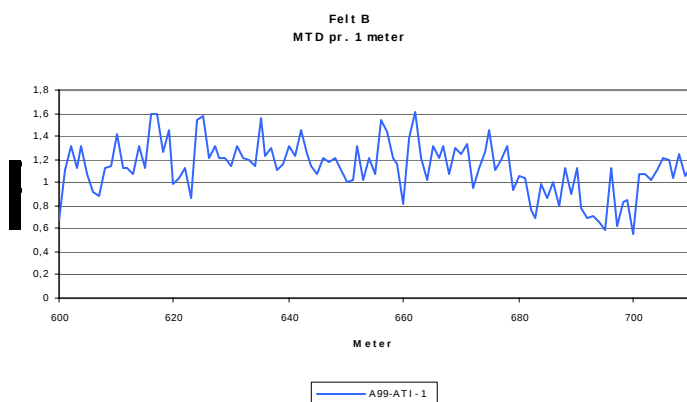
Egenskap	Krav på rullebaner > 1600 m
1. Tekstur	0,6-0,9 mm
2. Separasjon	Ikke god tatt
3. Jevnhet 3 meter rettholt	< 3 mm
4. Jevnhet 45 meter rettholt (påvirker fly i stor hastighet)	< 25-30 mm
5. Tverrfall	Maks. 1,5 %

I det etterfølgende gis eksempel på de ulike krav og resultater fra målebilen:

13.2 Tekstur og separasjon

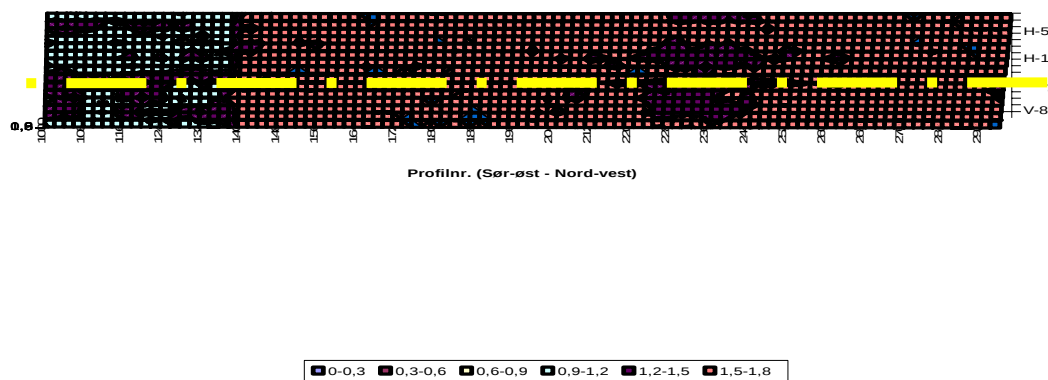
Partier på 100 lm i hver utleggerbredde benyttes som grunnlag. I tillegg registreres partier med separasjon. Felt over 5 lm med blødning vil ha påvirkning på flyene med hensyn til oppbremsing og aksepteres ikke. Steder med steinreir (grov tekstur) kan registreres og eventuelle hulromsmålinger utføres om ønskelig.

Av resultatene på testbanen ser vi også at partier på 2-10 meter som har blødning p 680-700 eller er veldig grov kan registreres av teksturmålingene.



Figur 31 Tekstur for hver 1 meter på testbanene

Slik målingene utføres nå, får vi en profil pr. utleggerbredde. Det hadde vært ønskelig ut fra separasjon og blødninger å kunne dekke større bredde pr. overfart. For flyplasser løses dette ved at vi kjører tre overfarter med ALFRED pr. utleggerbredde. For en rullebane gir dette eksempelvis følgende oversikt:

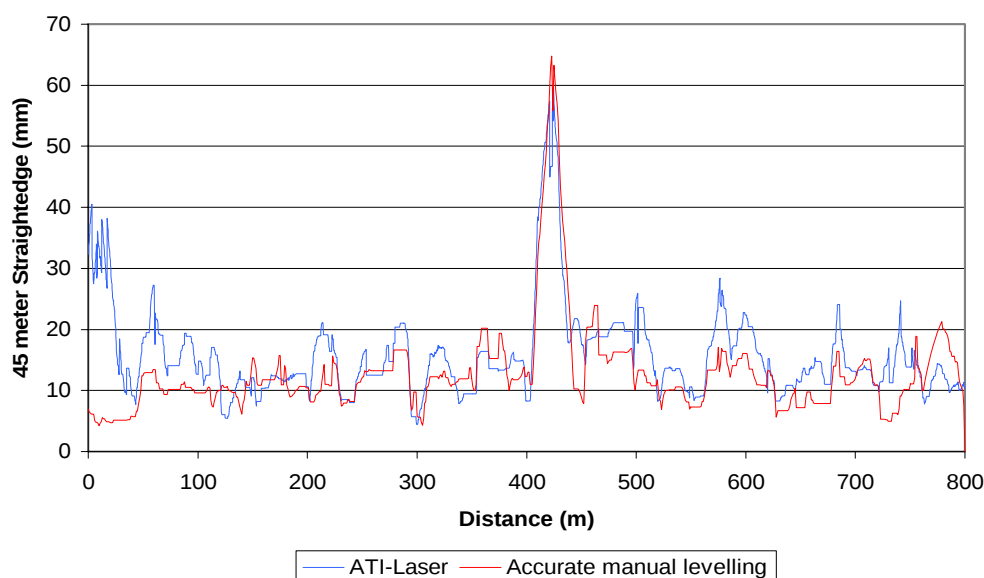


Figur 32 Teksturmåling Haugesund - Rullebaneforlengelse til venstre på tegningen

13.3 Jevnhet 3 mer og 45 meter

For jevnhetskravene var utstyret egnet til å ta ut jevnhet for 3 m rettholt, men databehandlingen måtte videreutvikles for å fange opp 45 m rettholt.

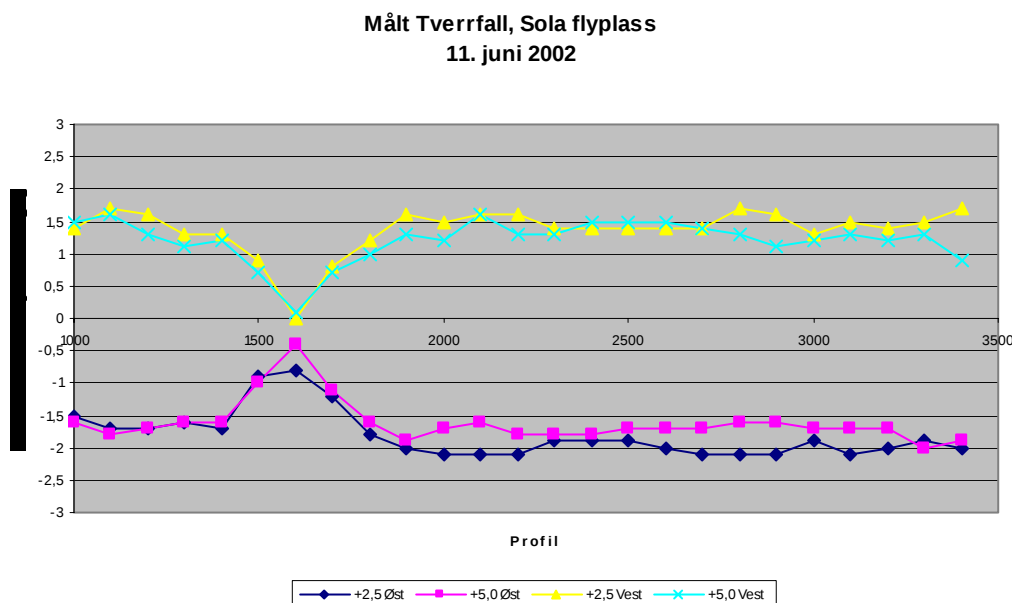
For å kalibrere målingene fra Alfred ble hele testbanen på Gardermoen nivellert med presisjonsnivellment. Vi ser at der er et godt sammenfall mellom faktiske ujevnheter og de målt med Alfred. Noe forskyving i lengden registreres men forklaringen er at startpunktet for Alfred ikke har vært eksakt i profil 0.



Figur 33 - 45 m rettholt testbanen

13.4 Tverrfall

Tverrfall rapporteres allerede i Alfred. Figuren viser resultat fra Stavanger lufthavn Sola i 2002 etter reasfaltering. Lavbrekket ved profil 1600 er krysset mellom to rullebaner.



Figur 34 Tverrfall vest og øst for senterlinje på Sola 18-36

Dette arbeidet har vist at kontroll av utlagt asfalt innarbeidet i kontrakter på flyplasser har fungert meget bra. Likeså blir kvalitetskontroll og dokumentasjon langt bedre og enn hva tilfellet er med stikkprøver og egenkontroll.

Avinor vil i fremtiden fortsatt benytte dette systemet. Det er enkelt, raskt og sporbart og nødvendig dokumentasjon kan tas frem fra hyllen eller PC'en om den etterspørres

Skal en se på videreutvikling av metoden er ett moment målebilen i seg selv. For å registrere tekstur i flere profiler for hver kjøring trengs det flere lasere. For flyplasser løses dette ved at bilen kjører flere overfarter og flytter seg 1 m sidelengs for hver profil. På veger derimot vil dette bli vanskelig. Ved å montere flere lasere på målebilen vil hele feltbredden kunne måles ved en overkjøring og dokumentasjon som vist fra Haugesund kan da fremskaffes for hele vegparsellen ved en kjøring.

Metoden ligger der og den er tatt i bruk av Avinor, med aksept fra entreprenørene, så alt skulle ligge til rette for at dette er en veg å gå i fremtiden.

Avinor oppfordrer asfalmiljøet i Norge til å trekke i samme retning slik at målemetodene kan tas i bruk også av andre byggherrer, kommuner samt entreprenører for egenkontroll og dokumentasjon av sine arbeider.

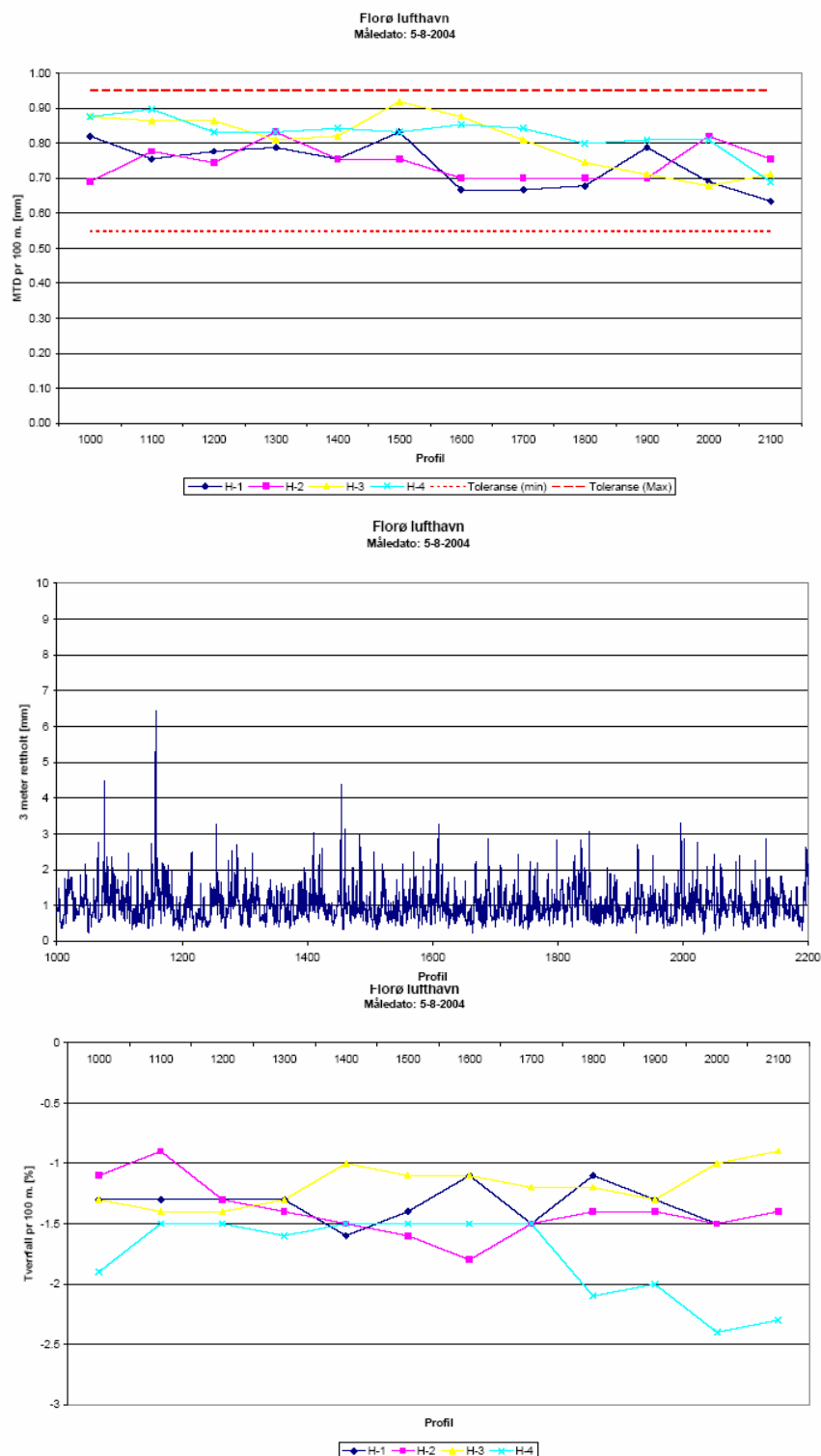
13 5 Resultater fra siste års kontrakter

Avinor har de siste fire årene satt krav til teksturverdi ved reasfalteringer av rullebaner som et funksjonskrav til dekket. For reasfaltering av Bergen og Trondheim sommeren 2002 ble målebilen benyttet som kvalitetskontroll av tverrfall og tekstur og brukt som grunnlag for sluttoppgjøret med entreprenøren.

I det etterfølgende er det gjengitt målinger med ALFRED på utførte kontrakter på 3 lufthavner i 2004. I det etterfølgende viser figurene:

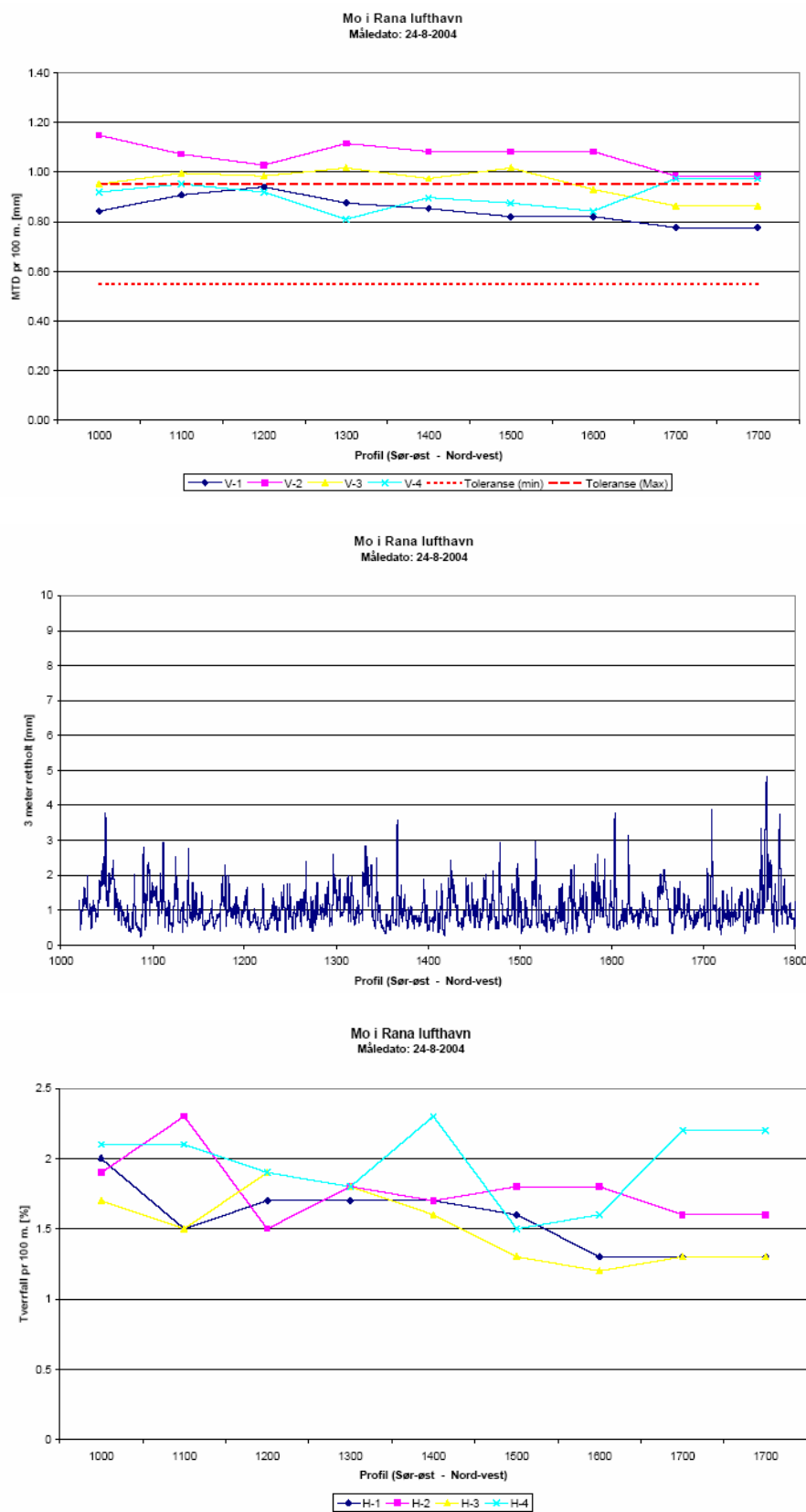
- 1 tekstur pr utleggerbredde og pr 100 lm
- Jevnhet 3 m rettholt
- Tverrfall

Florø lufthavn – anbefalt Ab 8



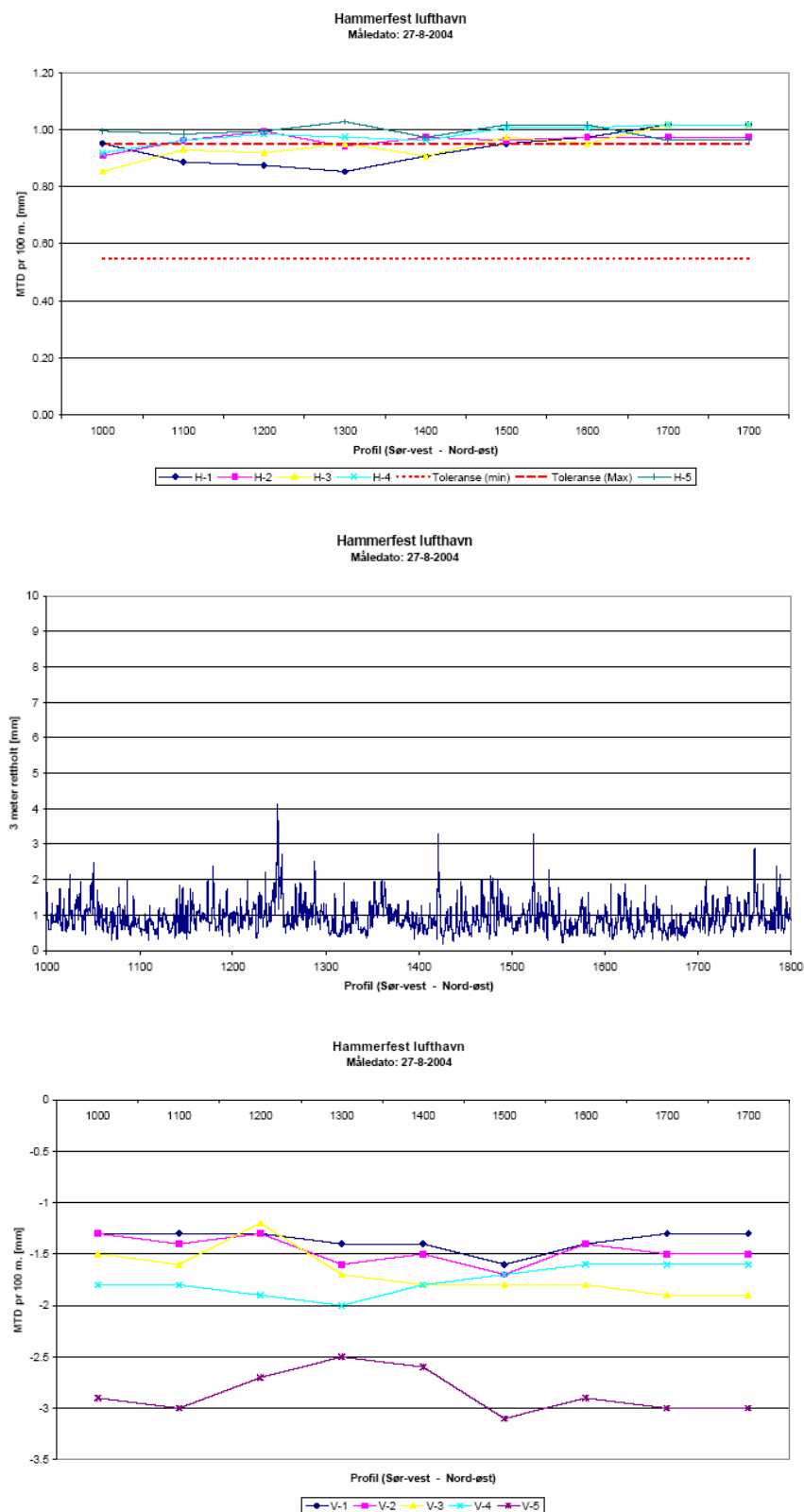
Figur 35 Resultat Florø

Mo i Rana lufthavn Anbefalt Ab 11



Figur 36 Resultat Mo i Rana

Hammerfest Anbefalt Ab "8,5"



Figur 37 Resultat Hammerfest

14 Sluttkommentar

Luftfartsverket har vært en krevende byggherre på det norske markedet tilsvarende som det er i Sverige. Våre små arealer, lange levetider og alvorlige konsekvenser om brukeren skulle få problemer gjør flyplasser vektlegger andre faktorer enn vegmiljøet.

Vi er ikke i mål ennå – det håper jeg vi aldri blir – videreutvikling må være løpende. Ett moment står imidlertid igjen selv om :

- resepter er historie
- bindemiddelkrav kan settes ut fra levetid og temperaturregime
- kjemikalier kan kontrolleres
- overflaten kan spesifiseres og måles
- kontraktsforhold gjøres opp med innlagt bonus ved oppnådd målt levetid og kvalitet

og det er UTFØRELSE!

Det er alt for mye dårlig håndverk fra råmaterialene ankommer verket til det er kjølet på rullebanen.

Hvorfor kjøpe gode råmaterialer når utførelsen ødelegger disse egenskapene?

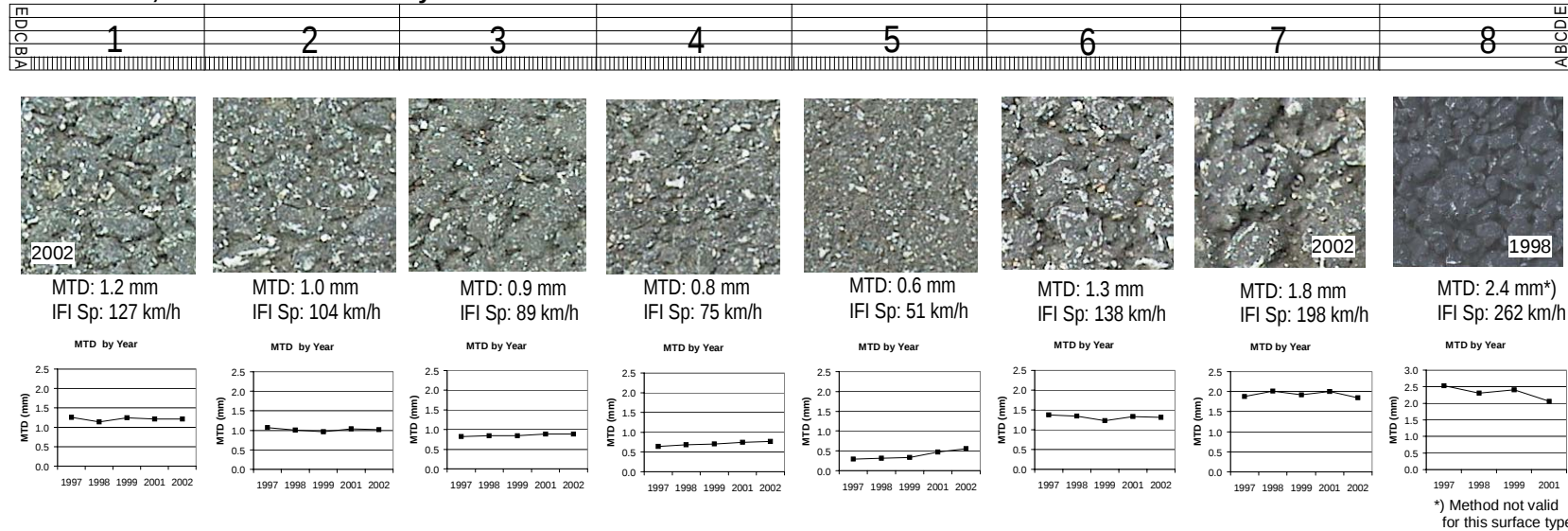
Aldring vil uansett være ett problem. Vi kan redusere det ved rejuvinators, økt bindemiddelinnhold med tilsetning av cellulose (uten å redusere stabilitet) og andre bindemidler.

Problemstilling om aldring av norske flyplassdekker og det arbeidet Avinor har gjort her er kort oppsummert av SINTEF i det nordiske forprosjektet vedrørende Durability of Asphalt Pavement.

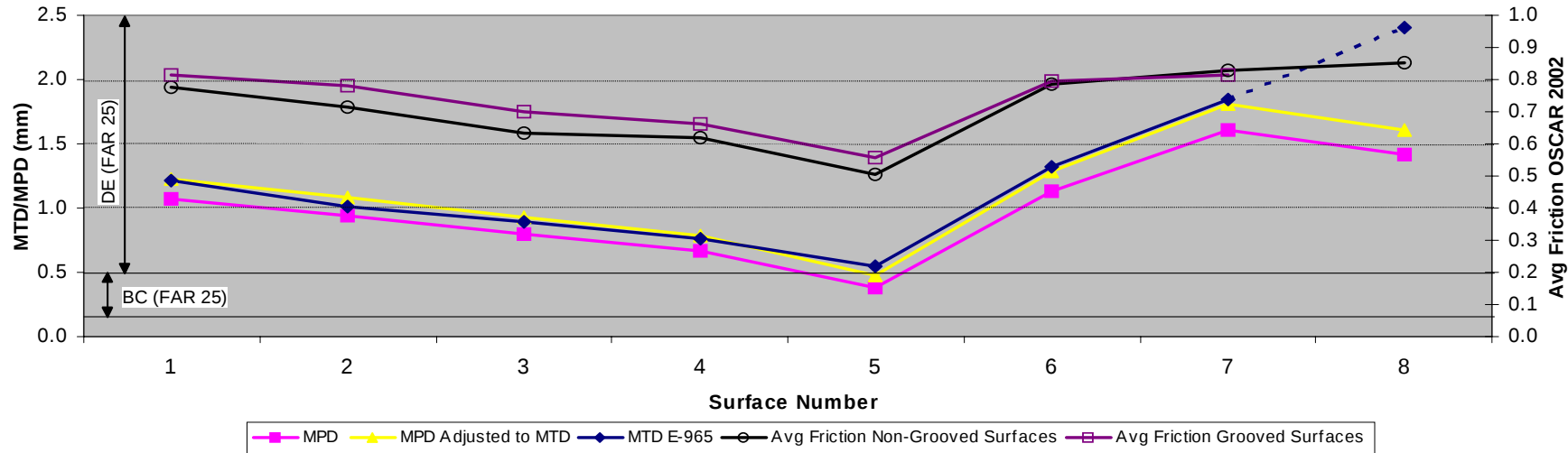
<http://www.sintef.no/units/civil/vs/vv/pro/durability/index.htm>

15 Vedlegg

Surface Photos, Macro Texture History and Friction of O. Kollerud Test track



Macro Texture and Friction



Kunngjorte surface type på norske rullebaner



03

RWY OVERFLATEEGENSKAPER

Følgende endringer til AIP Norge AD 1.1 para 6.4 og AD 2 ENXX tabell 2.12 beskriver "Surface Type":

6.4.5 Overflateegenskaper

Rullebanens overflateegenskap er beskrevet i ENXX AD 2.12 med målt teksturvendi i mm og om banene er rillet.

Basert på JAR 25.109 med underliggende dokumentasjon (FAR 25, Amendment 25-92 publisert i Federal Register 8298 18 februar 1998 og ESDU 71026) er Avinor sine rullebaner klassifisert i "Surface type" A-E er basert på tekstur til asfalt/ betongdekket etter følgende :

Klasse	A	B	C	D	E
Lav (mm)	0,10	0,15	0,25	0,51	1,02
Høy (mm)	0,15	0,25	0,51	1,02	2,54

Tabell 1: "Surface type" i henhold til ESDU 71026

Avinor følger regelmessig opp tilstandsutvikling gjennom sitt program for tilstandsvurdering av bane-systemer (min. hvert andre år hvor bl.a. tekstur måles).

RWY SURFACE TYPE

The following changes to AIP Norway AD 1.1 para 6.4 and AD 2 ENXX table 2.12 provides information on Surface Type:

6.4.5 Surface type

The surface characteristics of the RWY are described in AIP ENXX AD 2.12 with information of "Surface Type" (mm) and if the RWY is grooved.

Based on JAR 25.109 and underlying documents (FAR 25, amendment 25-92 published in Federal Register 8298, February 18, 1998 and ESDU 71026) are RWY belonging to Avinor described with "Surface Type" A through E depending on measured texture value of the surface according to table 1.

Klasse	A	B	C	D	E
Low (mm)	0.10	0.15	0.25	0.51	1.02
High (mm)	0.15	0.25	0.51	1.02	2.54

Table 1: Surface type according to ESDU 71026

Avinor provides information regarding texture value through the Pavement Management system which is based on inspections of the RWY at least every 2nd year.

- Vedlegg -

- Appendix -

Følgende tekst vil bli tatt inn i AIP Norge AD 2, tabell 2.12, under den enkelte flyplass:
 The following text will be included in AIP Norway AD 2, table 2.12, under the actual aerodrome:

ENSG	Surface Type D, Texture depth 1,0 mm.	Grooved
ENBL	Surface Type D, Texture depth 1,0 mm.	Grooved
ENSD	Surface Type D, Texture depth 0,7 mm.	
ENOV	Surface Type E, Texture depth 1,1 mm.	Grooved
ENAL	Surface Type D, Texture depth 0,9 mm.	Grooved
ENML	Surface Type E, Texture depth 1,6 mm.	
ENKB	Surface Type D, Texture depth 0,9 mm.	Grooved
ENNM	Surface Type E, Texture depth 1,2 mm.	Grooved
ENRM	Surface Type E, Texture depth 1,4 mm.	Grooved
ENBN	Surface Type E, Texture depth 1,2 mm.	
ENMS	Surface Type D, Texture depth 0,7 mm.	Grooved
ENST	Surface Type D, Texture depth 1,0 mm.	Grooved
ENNK	Surface Type C, Texture depth 0,5 mm.	
ENEV	Surface Type E, Texture depth 1,5 mm.	
ENSK	Surface Type E, Texture depth 1,3 mm.	Grooved
ENSH	Surface Type D, Texture depth 0,7 mm.	
ENLK	Surface Type C, Texture depth 0,5 mm.	
ENRA	Surface Type E, Texture depth 1,5 mm.	Grooved
ENHD	Surface Type E, Texture depth 1,7 mm.	Grooved
ENZV	Surface Type D, Texture depth 1,0 mm.	Grooved
ENZV	Surface Type D, Texture depth 0,8 mm.	Grooved
ENCN	Surface Type D, Texture depth 1,0 mm.	Grooved
ENVA	Surface Type D, Texture depth 0,8 mm.	Grooved
ENBR	Surface Type D, Texture depth 0,7 mm.	Grooved
ENAT	Surface Type D, Texture depth 0,9 mm.	Grooved
ENBS	Surface Type D, Texture depth 1,0 mm.	
ENBV	Surface Type D, Texture depth 0,8 mm.	
ENFG	Surface Type D, Texture depth 0,9 mm.	
ENFL	Surface Type D, Texture depth 0,7 mm.	
ENHF	Surface Type E, Texture depth 1,2 mm.	
ENHK	Surface Type E, Texture depth 1,3 mm.	
ENHV	Surface Type E, Texture depth 1,2 mm.	
ENKR	Surface Type D, Texture depth 0,9 mm.	Grooved
ENMH	Surface Type D, Texture depth 1,0 mm.	
ENNA	Surface Type E, Texture depth 1,2 mm.	
ENRO	Surface Type E, Texture depth 1,4 mm.	
ENRS	Surface Type E, Texture depth 1,2 mm.	
ENSB	Surface Type D, Texture depth 1,0 mm.	
ENSR	Surface Type E, Texture depth 1,1 mm.	
ENSS	Surface Type E, Texture depth 1,3 mm.	
ENTC	Surface Type E, Texture depth 1,5 mm.	Grooved
ENVD	Surface Type E, Texture depth 1,3 mm.	

Asphalt Institute rejuvenators

Robert E. Boyer, Ph.D., P.E.
Asphalt Institute



ASPHALT INSTITUTE

RECOMMENDATIONS

Rejuvenators should be applied before raveling and other serious deterioration begins. A final conclusion reached is that problems may be experienced with improper rates

- The Using Agency should adopt a performance type specification.
- Develop a periodic maintenance program using rejuvenators in three to five year cycles will extend the life of existing pavements.
- The secret to proper rejuvenation application procedures is CAUTION. It is better to apply two or more low-rate applications of the emulsion to achieve the proper rate of application than to make only one pass and have it be too heavy.

CONCLUSIONS

An asphalt rejuvenator emulsion offers three beneficial reactions:

- Increases penetration values and lowers the viscosity of the asphalt binder in the top portion of the pavement, which extends the pavement's life cycle.
- Seals the pavement against intrusion of air and water, thereby slowing oxidation, preventing stripping and raveling and protects the pavement in-depth.
- Increases the durability of the asphalt binder in the top portion of the pavement by improving the balance of chemical fractions of the asphalt binder.



Asphalt Binder Fractions, Asphaltenes and Maltenes.

ANVÄNDNING AV STÅLNÄT I GATORS OCH CYKELVÄGARS ÖVERBYGGNADER

Denna forskning genomfördes i väglaboratoriet vid Tekniska högskolan i Helsingfors under år 2004 som ett diplomarbete. Arbetets beställare och finansierare var Jyväskylä stad. Syftet med arbetet var att undersöka och samla upp erfarenheter av stål nätförstärkning i gators och cykelvägars överbyggnader i tätorter. På basis av forskningsresultatet skulle lönsamheten av förstärkning med stål nät i tätorter redas ut och förslag göras för att effektivisera användningen av stål nätförstärkning på gator och vägar.

I Finland används stål nätförstärkning i första hand för att förebygga långsgående sprickor som är förvällade av tjällyftning. Stål nät har använts i Finland för det här ändamålet sedan 1970-talet och erfarenheterna har varit goda. Statistik och olika undersökningar ger stöd åt de här erfarenheterna. Stål nätens inverkan på spårbildning har också undersökts med lovande resultat. Användningen av stål nät har dock grundat sig på erfarenheter och beslutet att bygga stål nätförstärkning görs individuellt utan tydliga anvisningar. Därför används stål nät i samband med beläggningsarbeten eller vägförbättringar på ställen där man vet att skadorna med säkerhet uppstår på nytt.

Stål nätens lämplighet att förebygga skador har undersökts i många forskningar. I EU – projektet REFLEX (Reinforcement on flexible road structures with steel fabrics to prolong service life) undersöktes bl. a. stål nätens möjlighet att förlänga beläggnings livslängd t.ex. genom att hindra eller fördröja sprick- och spårbildning. Projektet utfördes i samarbete med finska, svenska, italienska och tyska företag och forskningsinstitutioner. I undersökningen gjordes olika prov i laboratorieskala, så som HVS (Heavy vehicle simulator) –prov. REFLEX-projektet genomfördes åren 1999-2003. En annan storskalig stål nätundersökning gjordes i samband med det finska TPPT- projektet åren 1994-2001, där stål nätförstärkta vägars skador undersöktes på olika vägtyper. Också skilda HVS – prov har gjorts på stål nätstrukturer. Som ett fortsättningsprojekt undersöktes stål nätens möjligheter och funktion vid olika släntlutningar. Med HVS-prov undersöktes också stål nätens inverkan på bärrigheten då överbyggnaden var i tjällossningsskedet. I alla HVS-prov hade referenssektionerna samma uppbyggnad som de stål nätförstärkta sektionerna,

förutom att stål nätet fattades. I Finland har det också gjorts undersökningar om stål nätetns funktion med statistiska metoder.

I olika undersökningar har det observerats att stål nätet förstärkta vägars uppbyggnader håller upp till 300 mm tjällyftningar och 70 mm tjällyftningsdifferens mellan vägens centerlinje och kant. Förbättringen av vägens bärighet syns inte vid fallodsmätningar, som har använts i detta projekt, trots att man i allmänhet tror att stål nätet höjer bärigheten. Laboratorieexperiment pekade på att stål nätet minskar spårbildningen. Stål nätet förstärkta konstruktioner klarar 50...100 % mera lastöverfarter än oförstärkta uppbyggnader. På grund av stål nätetns draghållfasthet fördröjer det asfaltens utmattning och också utmattningssprickornas utveckling. Man rekommenderar användningen av stål nätet på vägar med branta slänter. Stål nätet kan installeras i obundet underlag eller mellan två asfaltslager. Stål nätet bör inte installeras mellan det obundna och det bundna lagret, eftersom stål nätet varken kan förankra sig i det obundna materialet eller fastklistra sig i asfaltbeläggningsen.

I detta projekt undersöktes 27 olika med stål nätet förstärkta cykelvägar och gator i Jyväskylä stad. Av dessa var 23 cykelvägar och fyra körbanor. 7683 meter förstärkta cykelvägar och 1749 meter oförstärkta cykelvägar undersöktes. De äldsta förstärkta cykelvägarna var gjorda år 1997 och efter det har vägar förstärkts varje år. De förstärkta körbanorna var gjorda under de senaste två åren. Därför ger resultatet inte någon god bild av hur stål nätetn hindrar skadors uppkomst på körbanor.

På alla ställen förutom på två cykelvägar, har stål nätet installerats i asfaltbeläggningsen, mellan gammalt och nytt asfaltslager, så att man på nätet har lagt 120 kg/m^2 asfalt. I alla körbanor och på två cykelvägar har nät installerats i obundet lager i samband med vägförbättringar.

Stål nätet som används som förstärkning är samma nät, som används i armerad betong. I alla provsträckor hade man använt nät av typen B500K-7/5-150/200, vilket betyder att stål nätet var kallvalsat med en sträckhållfasthet på 500 N/mm^2 . Stål nätetns stänger hade en tjocklek på 7 mm och 5 mm och distansen mellan stängerna var 150 mm och 200 mm. Nätens dimensioner har valts enligt principen att nätkanten bör installeras 50 mm utanför beläggningens kanten på båda sidorna. Nätets längd är 2350 mm, som är ett standardmått för stål nätet. På sträckor där nät har installerats i obundet lager har näten överlappats med 300 mm. I objekt där nät har installerats mellan två asfaltslager, har man lämnat en springa med storleken 0...100 mm mellan de olika stål nätetn.

Som referenssträckor valdes cykelvägar som har belagts eller förnyats vid samma tidpunkt som de förstärkta sträckorna. I praktiken var referenserna oförstärkta delar av de cykelvägar som hade förstärkts. I projektet inventerades 2 993 meter oförstärkt cykelväg. Referenssträckorna var inte goda referenser, därför att förstärkningsåtgärder endast har gjorts på sträckor där skador har utvecklats tidigare. På referenssträckorna har man därför inte ens förväntat sig skador. Därför kan man antaga, att stål nätet fungerar bra, om skadesumman är mindre eller lika stor på de förstärkta sträckorna som på oförstärkta sträckorna.

Provsträckornas längd och längden av skadad överbyggnad har mätts med ett måtarhjul och stålnetens exakta plats har registrerats med en metalldetektor. Sprickornas bredd har mätts med en rullmätare. Skadeinventering genomfördes i april 2004, då tjällyftningarna hade sitt maximivärde. Då var det också lätt att se skadorna.

Skadeinventeringens resultat visas i bild 1. Referenssträckornas dåliga jämförbarhet med de förstärkta delarna måste beaktas när man tolkar resultatet. Skadesumman har räknats med formeln:

$$\text{Skadesumma} = 3,0 * V_{\text{bred tvärspricka (st.)}} + 1,5 * V_{\text{smal tvärspricka (st.)}} + 0,5 * V_{\text{köldspricka, fin spricka (st.)}} + 1,0 * V_{\text{bred längsgående spricka (m)}} + 0,5 * V_{\text{smal längsgående spricka (m)}} + 0,25 * V_{\text{fin spricka (m)}} + 1,0 * V_{\text{krackelering (m}^2\text{)}} + 1,0 * V_{\text{sprickan vid fog av stål nät (m)}} + 0,25 * V_{\text{kantskadan (m}^2\text{)}} + 1,0 * V_{\text{stål nät på syn (m}^2\text{)}} + 0,25 * V_{\text{stål natts figur på beläggningen (m}^2\text{)}} + 1,0 * V_{\text{ojämnhet (m}^2\text{)}}$$

Skadesumman var 12 m²/100 m på cykelvägar som var stålnetförstärkta och 16 m²/100 m på cykelvägar utan förstärkning. Följaktligen ser stålnet ut att fungera bra mot skador i genomsnitt. Skadeinventeringen bekräftade att stålnet helt hade förhindrat uppkomsten av längsgående sprickor i mitten av cykelvägar. Vid skadeinventeringen observerades flera ställen där en bred (>20 mm) längsgående spricka i de oförstärkta sträckorna slutade där stålnetet började. Förstärkta cykelvägar var i gott skick där förstärkningen hade lyckats. Bild 1 visar ändå att på 3, 4 och 6 år gamla sträckor är skadesummorna betydligt större på förstärkta cykelvägar än på oförstärkta cykelvägar.

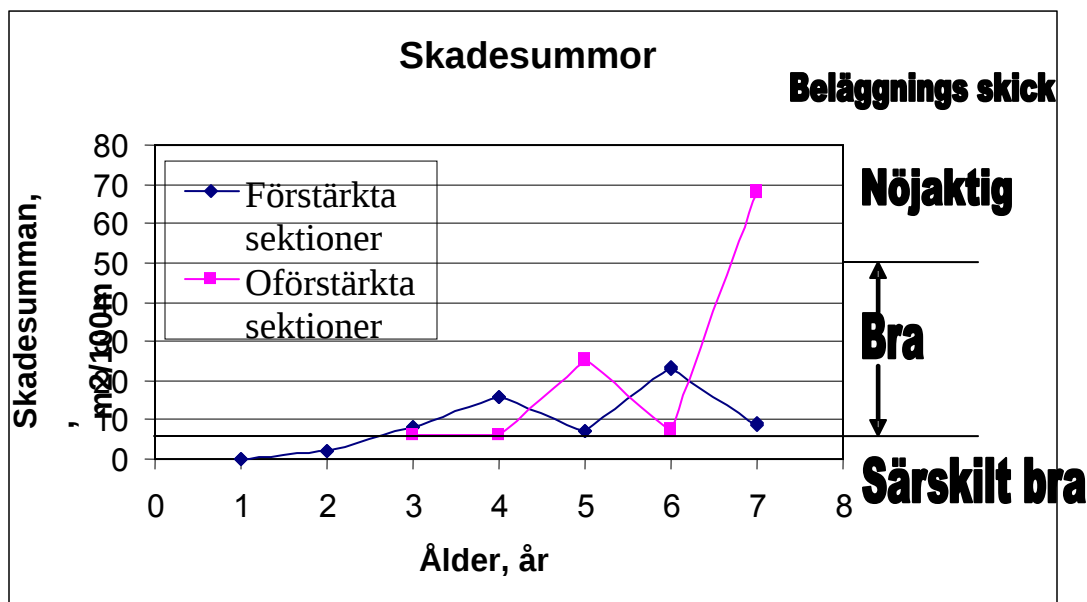


Bild 1. Resultat av skadeinventeringen i Jyväskylä.

Den stora skadesumman på de förstärkta cykelvägarna har huvudsakligen förvållats av själva stålnetet. Cirka 60 % av skadesumman bestod av tvärsprickor smalare än 20 mm.

Bara en tvärspricka bredare än 20 mm blev uppmätt i undersökningen. Stålnätets effekt på tvärsprickor är att sprickan nästan alltid uppstår i nätfogarna. Det blir därför möjligt att förutsäga ställen där tvärsprickor kommer att uppstå.

Inga längsgående sprickor noterades i mitten av cykelvägarna, men kanterna av cykelvägarna var oanvändbara eftersom det hade uppstått farliga längsgående sprickor vid kanterna av stålnätet. I inventeringen uppmättes 811 meter sprickor av den typ som visas i bild 2. Det är 11 % av hela längden av förstärkta cykelvägar. Sprickan ser ut att lätt utveckla sig då nätets yttersta stång ligger för långt borta från beläggningens kant. Sprickan på beläggningen förminskar cykelvägens trafikförmedlingskapacitet, eftersom hela bredden av vägen inte kan användas. Därtill kan sprickorna förorsaka upplösning av beläggningen.



Bild 2. En längsgående spricka som har utvecklats vid stålnätskanten.

Ett annat problem vid användningen av stålnätförstärkning är ett alltför tunt beläggningsslag ovanpå nätet (bild 3). Det här gör att det uppstår nätfigurer på beläggningssytan eller t.o.m att nätet kommer upp till ytan. Tjockleken på beläggningarna var 40-50 mm, såsom de borde vara. Förmodligen har asfaltmassa kommit under nätet vid utläggningen och detta har lett till att nätet kommit för nära ytan. Orsaker till detta kan vara vridna nät eller oaktsamhet vid utläggningen. En annan förklaring på nätfigurer på beläggningssytan är att det obundna lagret har givit efter. I skadeinventeringen observerades flera sträckor där det uppstått hål i asfalten som deformerats, medan det styva nätet inte har gett efter (bild 4).



Bild 3. Stålnätet har kommit för nära beläggningssytan med nedbrytning som följd.



Bild 4. Beläggningens underbyggnad har givit efter.

Nätfiguren på beläggningssytan har skadeverkningar på trafiken. En cyklare eller en rullskridskoåkare upplever figurtexturen som en obekväm vibration eller som ett farligt hinder. Stålnät som syns är en klar säkerhetsrisk. En ståltapp på beläggningen är mörk och därför osynlig och kan då vara farlig även för en fotgängare.

Stålnät som är dåligt installerat förorsakar förtidig nedbrytning av beläggningen och försämrar vägens tekniska funktion. Ett stålnät som har blivit på eller nära ytan förorsakar sprickbildning i beläggningen snart efter utläggningen eftersom tunna asfaltlager inte

orkar hålla nätet stilla. När sprickor har utvecklats, börjar asfalten upplösas vid stålstängerna. När stängerna är nära ytan ökar trafiken nätets rörelse. Därtill kan nätet som syns vara en frestelse för vandaler som kan böja stängerna och så försnabba nedbrytningen av asfalten.

Skador som är förorsakade av stålnät blev inte observerade i sektionerna, där nätet hade installerats i obundna lager. I obundna lager är det lättare att installera nätet så att nätkantena sträcker sig utanför beläggningens kanter. Detta betyder att eventuella sprickor uppstår i slänterna utanför beläggningen. Obundna lager tillåter också nätens överlappning, som inte är rekommenderad vid installering i bundna lager. Då spricker beläggningen inte vid nätfogarna.

Om alla skador, som var förorsakade av stålnät, eliminerades, skulle skadeinventeringens resultat vara det som visas i bild 5. I detta fall skulle skadesumman med stålnätförstärkta sektioner vara $8 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ eller en tredjedel mindre än ifall skadorna förorsakade av stålnät hade iakttagits.

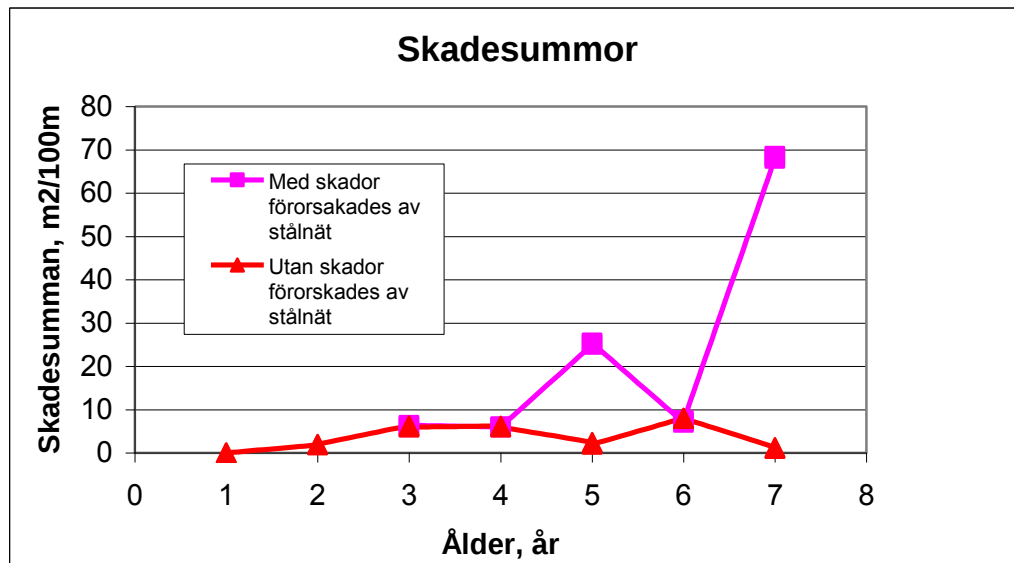


Bild 5. Skadesumman ifall skador förorsakade av stålnät inte beaktas och skadesumman ifall skadorna förorsakade av stålnät beaktas.

Slarvigt genomförd stålnätförstärkning kan resultera i en farlig och ful cykelväg. Förstärkningsarbetet kräver speciellt uppmärksamhet på arbetets utförande och övervakning. Denna undersökning visade att 120 kg/m^2 asfaltmassa inte räcker till i praktiken, medan 150 kg/m^2 borde vara tillräckligt med effektivt och specialiserad övervakning. Stålnätets storlek borde väljas så, att nätet säkert är bredare än beläggningen. Efter belägningsarbetet borde nätkanterna synas utanför beläggningen. Då är det möjligt att observera nätens läge i asfalten när arbetet är i gång. Då är det också

lättast att göra lämpliga åtgärder ifall nätet t.ex. har kommit för nära beläggningsytan. Sålunda kan en skild reparation undvikas.

I denna forskning gjordes också en ungefärlig granskning av stålntärförstärkningar som gjorts i andra städer i Finland. Denna granskning gjordes i sex städer och resultaten var de samma som i Jyväskylä. Det betyder att inga skador observerades på vägar där näten var installerade i obundna lager och om näten var installerade i asfaltbeläggningen, observerades tvärsprickor och sprickor vid stålntätskanterna. I övrigt var beläggningarna i bra kondition.

Stålntät som är installerade i obundna lager är lika effektiva att förebygga längsgående sprickor i mitten av vägen som stålntät installerade i asfalten. Detta resultat har erhållits också i alla andra projekt, som har studerat stålntätförstärkning. Installering av stålntät i obundna lager anses i allmänhet ekonomiskt olönsamt för att överbyggnaden måste rivas och byggas om igen. Detta arbete är tidskrävande. Stålntäten tycks rosta lättare i obundna lager än inne i asfaltbeläggningen. I norra Finland har stålntät använts på hundratals kilometer och där har det konstaterats att ntätinstallering i obundna lager är den enda rätta metoden för cykelvägar. I tätorter anses ofta stålntätförstärkning i obundet lager vara en alltför stor investering och risk, för att en gata eller en cykelväg har en mycket större risk än motsvarande objekt utanför tätorter att bli uppriven på grund av kommunaltekniska åtgärder.

WearTox

Effekter på alveolmakrofager och epitelceller av slitagepartiklar från vägbana och däck



Mats Gustafsson¹, Göran Blomqvist¹, Andreas Dahl², Anders Gudmundsson², Anders Ljungman³, John Lindbom³, Bertil Rudell³, Erik Swietlicki⁴

¹VTI, Transport och miljö

²Avdelningen för ergonomi och aerosolteknik,
Institutionen för designvetenskaper,
Lunds tekniska högskola, Lunds universitet

³Avdelningen för yrkes- och miljömedicin,
Institutionen för molekylär och klinisk medicin,
Hälsouniversitetet, Linköpings universitet

⁴Avdelningen för kärnfysik, Fysiska institutionen,
Lunds tekniska högskola, Lunds universitet

Bakgrund

Under slutet på 90-talet genomfördes mätningar av luften partikelhalter i sex svenska städer där syftet var att studera vilka halter som förekommer i gatu-, respektive taknivå och studera partiklarnas ursprung (Areskoug m. fl. 2001). Något förvånande visade det sig att den tydligt dominerande källan till partiklar i gatunivå under vinterhalvåret då halterna är som högst, inte är avgasrelaterade partiklar utan härrör från slitage av vägbana, däck och bromsar. Slitage av vägbanan orsakad av dubbdäcksanvändning bidrar mycket starkt till partikelhalterna, men även vintersandningen är en bidragande orsak. Dessa resultat har styrkts av fortsatta mätningar främst i Stockholm. Där är problemen i hårt trafikerade miljöer stora och åtskilliga mil gator och vägar i länet har halter som överskrider den nya miljö kvalitetsnormen för inandningsbara partiklar (kallade PM_{10}) som började gälla 1 januari 2005 (SFS 2001). Enligt denna får dygnsmedelhalterna av PM_{10} inte överstiga $50 \mu g m^{-3}$ (90-percentil) och att årsmedelhalterna inte får överstiga $40 \mu g m^{-3}$. Mätningar har visat att normen överskrids i åtskilliga kommuner av olika storlek och även längs delar av det nationella vägnätet.

Den nyvunna kunskapen om slitagepartiklarnas betydelse för partikelhalterna kräver ökad kunskap om vilka faktorer som styr bildningen, om partiklarnas egenskaper, om deras eventuella betydelse för hälsoeffekter och om vilka åtgärder som kan bidra till att sänka bidraget. I Norge och Finland har denna problematik studerats under en längre tid än i Sverige. Intressant nog betraktar man i Norge dubbdäckens som det centrala problemet (t.ex. Larssen 1997) medan man i Finland främst inriktat forskning och åtgärder mot vintersandningen (t.ex. Kupiainen m. fl. 2003).

Projektet WearTox är ett av de första som Vägverket initierade för att fylla dessa kunskapsluckor. Projektet har utförts av VTI i samarbete med Lunds universitet och Linköpings universitet.

Syfte

Syftet med projektet har varit att studera

- den toxiska potentialen hos slitagepartiklar från beläggning och däck hos exponerade mänskliga luftvägsceller.
- slitagepartiklarnas fysikaliska, kemiska och morfologiska egenskaper.

Under arbetets gång tillkom önskemål om karaktärisering av ytterligare kombinationer av däck vägbana och även från försök med sandad vägbana. Dessa tilläggsbeställningar inkluderade dock inte toxikologiska studier utan begränsade sig till karaktäriseringen av partiklarna.

Metodik

För att kunna generera och studera slitagepartiklarna separat, utan inblandning av partiklar från avgaser och andra källor krävs att partiklarna kan genereras och provtas i en miljö där andra källor är minimerade. Detta kunde åstadkommas genom att mätningarna genomfördes i den slutna hallen runt VTI:s provvägsmaskin (Figur 1), som vanligtvis använts för att studera slitage av olika typer av vägbeläggningar och däck. Med provvägsmaskinen kan olika kombinationer av beläggningar, däck och friktionsmaterial provas i upp till 70 km/h och i olika temperaturer. Halterna och storleksfördelningar för de slitagepartiklar som bildas kan erhållas och partiklarna kan provtas för kemiska analyser och mikroskopi.



Figur 1 VTI:s provvägsmaskin (PVM)

Särskilda mätinstrument användes för att studera de inandningsbara partiklarnas. Partikelhaltens variation kunde också följas med dessa instrument i kombination med ett optiskt mätinstrument med hög tidsupplösning (DustTrak). Partiklar provtogs på filter med en högvolymssprovtagare för vidare analys med elektronmikroskop och analys av grundämnessammansättningen.

I det ursprungliga projektet avsågs partiklar från två beläggningars dubbdäcksslitage studeras, men projektet utökades med fler kombinationer med friktionsmaterial (

Tabell 1)

Tabell 1. Försökskombinationer

Nr.	Datum	Beläggning	Däcktyp	Friktionsmaterial	Benämning i cellstudien
1a.	2003-03	ABT granit	Dubbdäck	-	
1b.	2003-06	ABT granit	Dubbdäck	-	PM1
2.	2003-10	ABS kvartsit	Dubbdäck	-	PM2
3.	2003-11	ABS kvartsit	Friktionsdäck	-	
4.	2003-12	ABS kvartsit	Dubbdäck	Stenkross	
5.	2004-02	ABS kvartsit	Friktionsdäck	Stenkross	
6.	2004-03	ABS kvartsit	Friktionsdäck	Natursand	
7.	2004-03	ABS kvartsit	Dubbdäck	Natursand	

I cellstudierna studerades partiklarnas förmåga att orsaka frisättning av s.k. inflammatoriska mediatorer från mänskliga makrofager och epitelceller från olika delar av luftvägarna. Dessa ämnen är en typ av signalsubstanter som cellerna utsöndrar då de utsätts för olika typer av belastning, t.ex. partiklar och bakterier, för att aktivera immunsystemets olika delar. Partiklarna som provtogs vid slitageförsöken med två beläggningar och dubbdäck jämfördes med partiklar insamlade vid Hornsgatan i Stockholm, på en tunnelbanestation i Stockholm och med dieselpartiklar (Tabell 2).

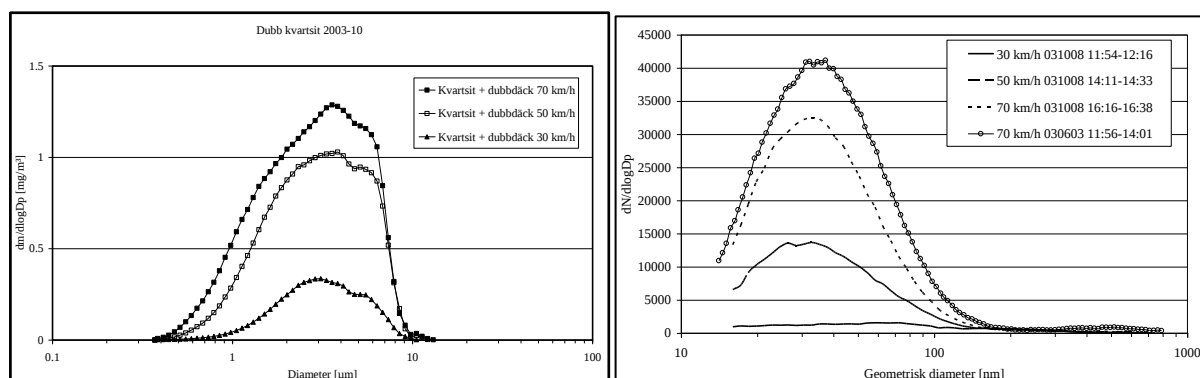
Tabell 2. Beskrivning av partiklar använda i cellstudien.

Partikelbenämning	Beskrivning
PM 1	Dubbdäck på ABT asfalt (Skärlunda granit)
PM 2	Dubbdäck på ABS asfalt (Kärr kvartsit)
PM 3	Gatupartiklar från Hornsgatan i Stockholm
PM 4	Tunnelbanepartiklar från Mariatorgets T-banestation i Stockholm
PM 5 (Vattenextraherade)	Dieselpartiklar
PM 6 (Metanolextraherade)	Dieselpartiklar

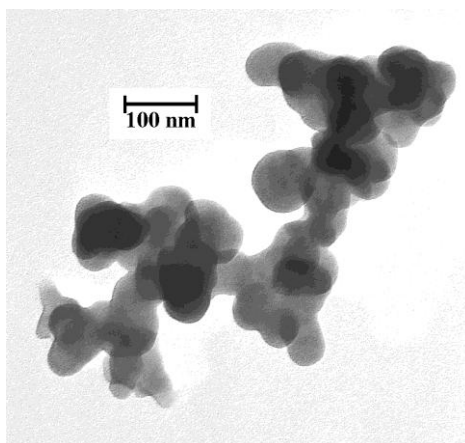
Några resultat

Slitagepartiklarnas egenskaper

Höga halter av inandningsbara partiklar bildas i provvägshallen vid provningarna. Grövre inandningsbara partiklar dominerar massfördelningen och är likartade för de två provade beläggningarna och vid olika hastigheter (Figur 2), vilket var förväntat. Mindre väntat är att en ansevärd mängd ultrafina partiklar (< 100 nm) bildades och dominerar antalsfördelningen (Figur 2 och Figur 3).



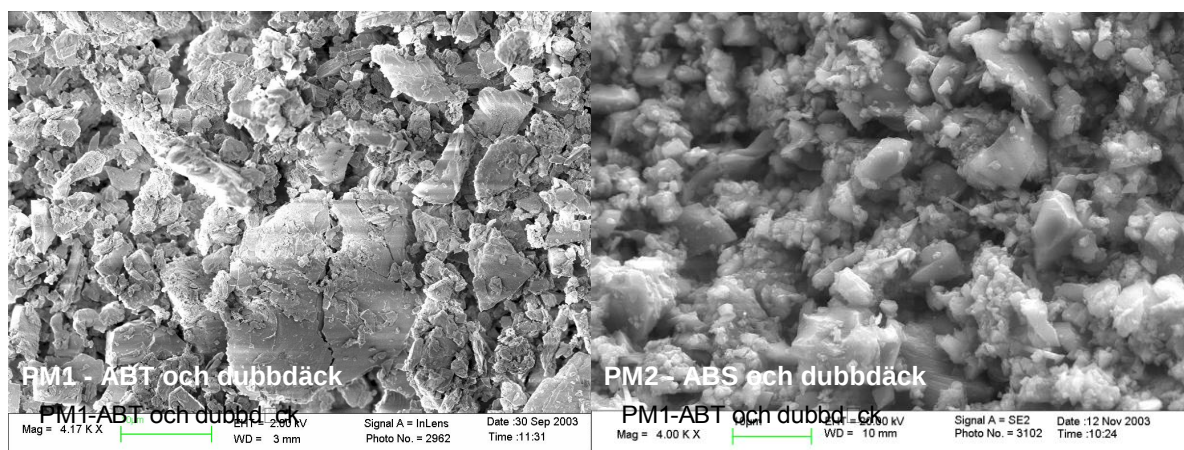
Figur 2. Partikelstorleksfördelning för partiklar mellan $0,523$ - $18,47$ μm (till vänster) och för partiklar mellan 16 - 723 nm (till höger) vid olika hastigheter i provvägsmaskinen. Kombinationen är ABS med kvartsit och dubbdäck utom den översta kurvan i det högra diagrammet som är ABT med granit och dubbdäck.



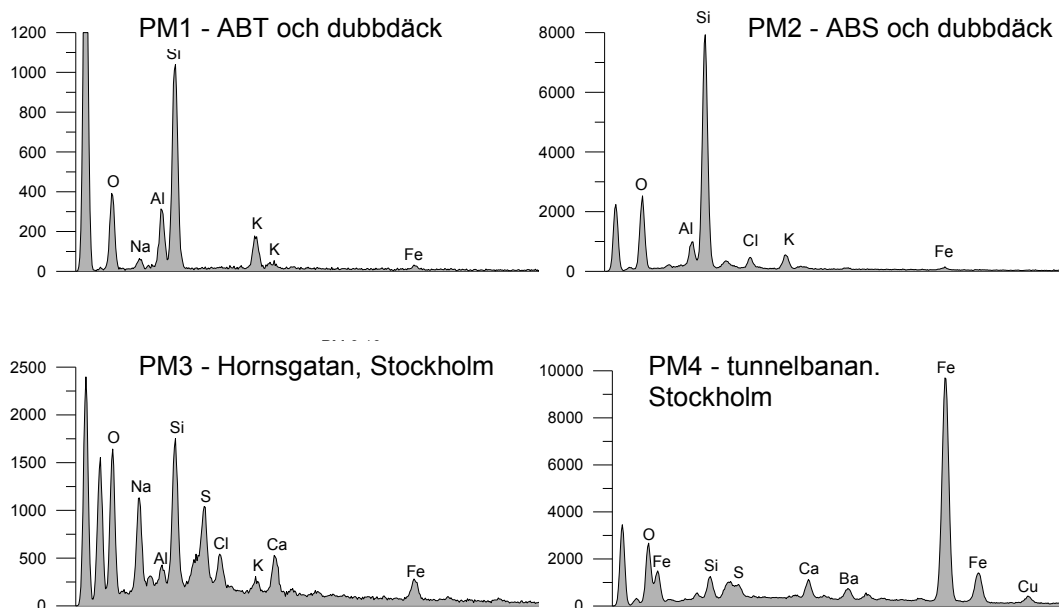
Figur 3. Ett exempel på hur en ultrafin partikel från försöken kan se ut.

Elektronmikroskopi visar att partiklarna från båda kombinationerna med beläggning och dubbdäck helt domineras av färskaste stenfragment från beläggningsstenen (Figur 4). Partiklarna från graniten i ABT-beläggningen har flisiga former, medan partiklarna från kvartsiten i ABS-beläggningen är mer korniga. De ultrafina partiklarna verkar i huvudsak bestå av mer lättflyktiga ämnen (Figur 3). Då storleksfördelningen för dessa partiklar ändras då dubbdäck byts till friktionsdäck, kan ett möjligt ursprung vara däckens.

Partiklarnas grundämnessammansättning visar också på tydligt mineralogiskt ursprung för partiklarna från slitagesförsöken (PM1 och PM2 i Figur 5). I figuren visas även grundämnesspektra för partiklar från Hornsgatan (PM3) och partiklar från tunnelbanan (PM4). Gatupartiklarna har såväl tydliga mineralrelaterade ämnen (kisel (Si), aluminium (Al), kalcium (Ca)) som spår av vägsalt (klorid (Cl) och natrium (Na)) och förbränningsrelaterade ämnen (t.ex. svavel (S)). I tunnelbanan dominerar metaller som järn (Fe) från slitage av bromsar, hjul och räls och koppar (Cu) från spänningsledningar.



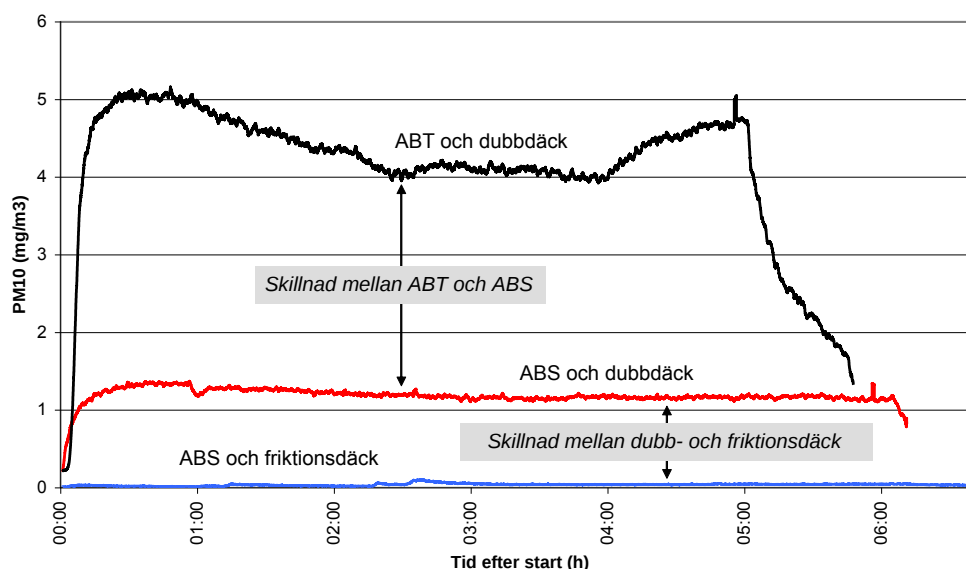
Figur 4. Elektronmikroskopbilder av PM₁₀ från slitage med dubbdäck av de två olika beläggningarna..



Figur 5. EDS-spektrum för SEM-bilder för de fyra partikeltyper som ingår i cellstudien.

Hur påverkar olika kombinationer halter och storleksfördelningar?

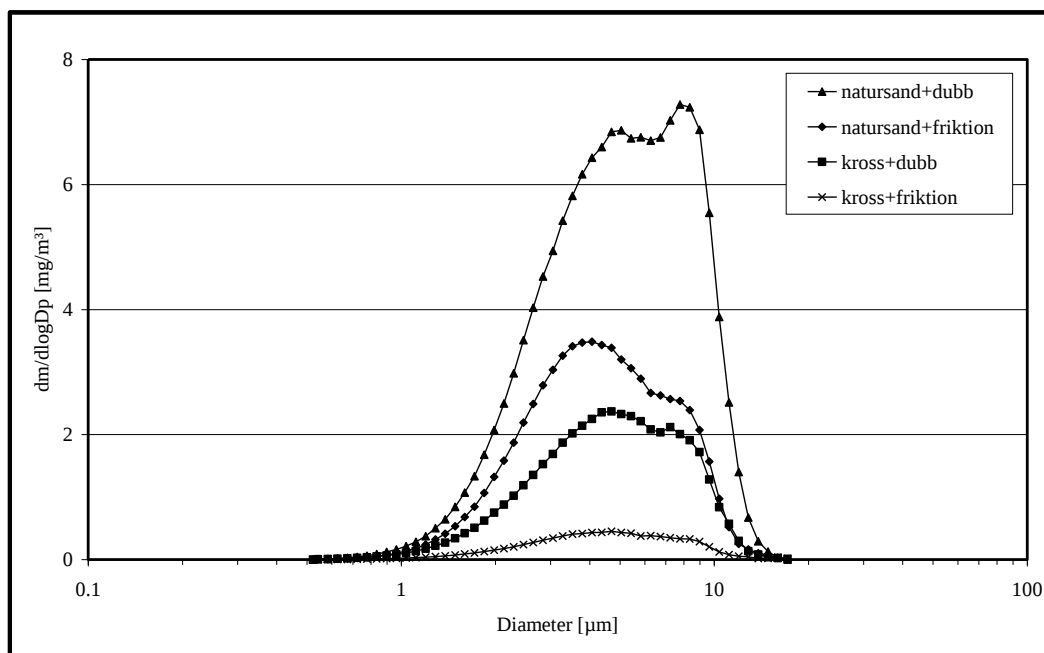
Vid enbart slitage av beläggning med dubbdäck stiger PM_{10} -halten till en konstant nivå som sedan förblir konstant så länge hastigheten hålls konstant (Figur 6). Högre hastighet resulterar i högre nivå. Genom att studera nivåskillnaderna kan observeras att de båda beläggningarna ger upphov till mycket skilda koncentrationsnivåer vid dubbdäcksslitage. ABS-beläggningen av kvartsit avger betydligt mindre mängd PM_{10} än ABT-beläggningen med granit. Om odubbade vinterdäck (friktionsdäck) används på samma ABS-beläggningen sjunker koncentrationen kraftigt (Figur 6).



Figur 6. Skillnad i halt PM_{10} i PVM-hallen vid olika kombinationer av beläggning och däck.

Då två olika typer av friktionsmaterial (tvättad stenkross och otvättad natursand) används i kombination med ABS-beläggningen och dubbdäck eller friktionsdäck måste hastigheten

sänkas eftersom materialet snabbt förs av banan av hjulens rörelser. Storleksfördelningen förskjuts något mot de grövre fraktionerna. Den otvättade natursanden ger högre halter oavsett däcktyp och dubbdäck bildar mer partiklar än friktionsdäck för respektive friktionsmaterial (Figur 7).



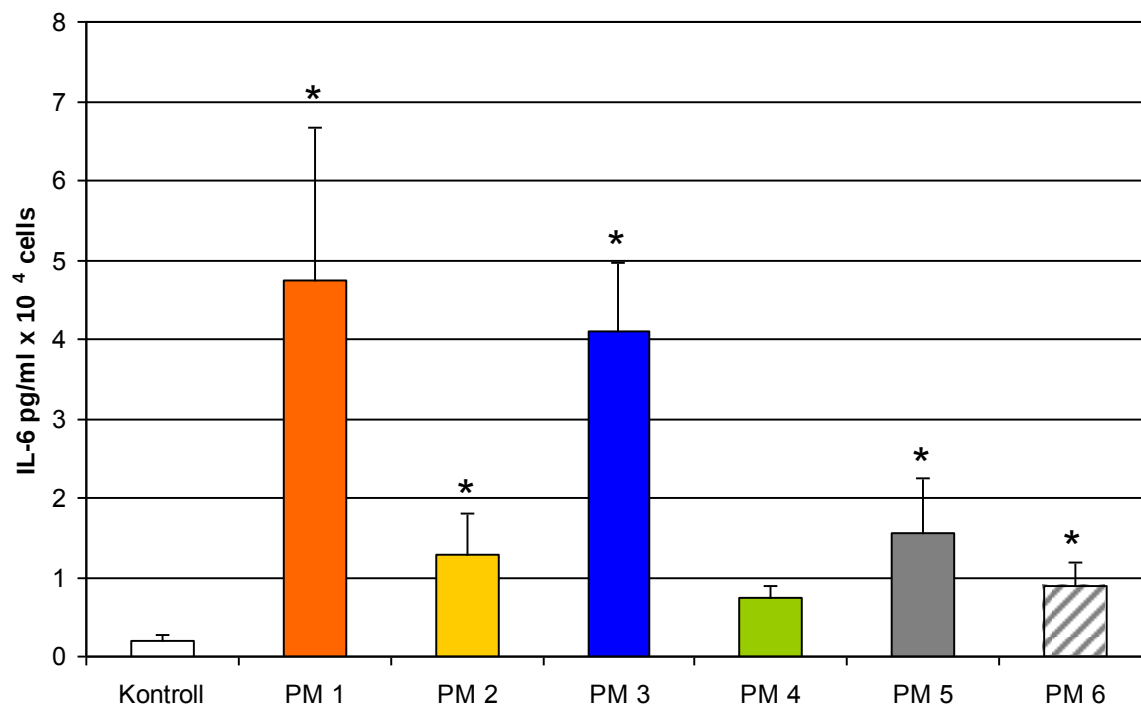
Figur 7. Exempel på storleksfördelningar vid 500 g per m² påfört friktionsmaterial vid inledande fas, 30 km h⁻¹.

Inflammatoriska effekter i mänskliga celler

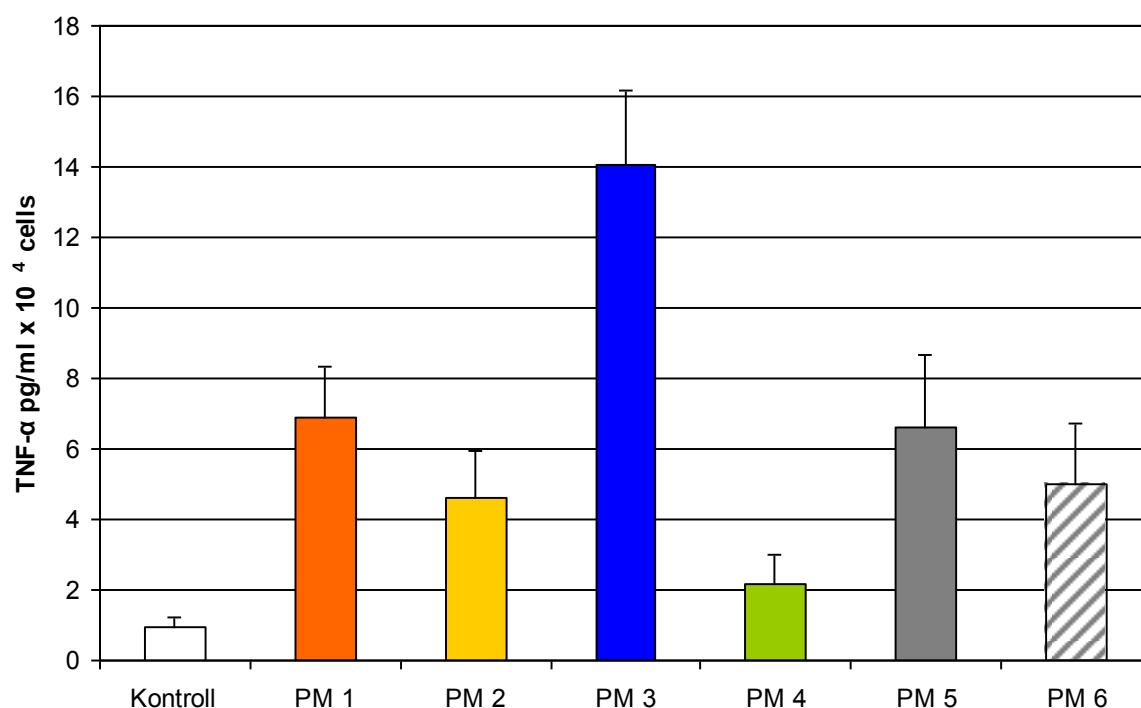
Slitagepartiklarna från de två beläggningarna skiljer sig åt avseende inflammatorisk potential såtillvida att partiklarna från ABT-beläggningen generellt är avsevärt mer potent än de från ABS-beläggningen (ex. Figur 8 och Figur 9). Detta var oväntat, då ABS-beläggningen valdes bland annat för att dess höga innehåll av kvarts antogs kunna medföra en förhållandevis hög inflammatorisk potential. Istället är potensen hos partiklarna från granitbeläggningen tydligt högre.

Partiklarna från Hornsgatan är generellt mest inflammatoriska av samtliga partikeltyper, men dessa partiklar var också de enda som innehöll endotoxin (ett ämne som finns i s.k. gramnegativa bakterier och som är immunförsvarets "fiende nummer 1"). Partiklarna från tunnelbanan och från ABS-beläggningen har generellt låg inflammatorisk potential.

Anmärkningsvärt är att de dieselpartiklar som ingår i försöket inte är mer potenta. Dieselpartiklar betraktas vanligtvis som mycket inflammatoriska. Resultaten i detta försök visar att partiklarna från beläggningsslitage är minst lika potenta. Det skall dock understrykas att det ej går att dra några långtgående slutsatser utifrån dessa resultat då cellexponering är den enklaste varianten av toxikologiskt test, som ej kan generaliseras till att gälla allmänna hälsoeffekter. Dock ger de en värdefull indikation. Norska studier (Låg m. fl. 2004) styrker resultaten att partiklar från olika bergarter har märkbart olika inflammatorisk potential.



Figur 8. Frisättning av den inflammatoriska mediators IL-6, från makrofager exponerade för 100 µg partiklar per ml odlingsmedium av respektive partikeltyp i 18 timmar.



Figur 9. Frisättning av den inflammatoriska mediators TNF-α från makrofager exponerade för 10 µg partiklar per ml odlingsmedium respektive partikeltyp i 18 timmar.

Slutsatser och diskussion

Resultaten från WearTox visar att det finns en uppenbar potential att förbättra miljön för människors hälsa längs gator och vägar där partikelhalterna är höga genom att anpassa beläggningars steninnehåll både med avseende på hur mycket damm som avges och med avseende på hur inflammatoriska de bildade partiklarna är. I dessa experiment är den hållfasta ABS-beläggningen ur dessa synvinklar att föredra framför ABT-beläggningen eftersom den avger mindre mängd och mindre inflammatoriska partiklar.

Dubbdäcken spelar en mycket stor roll för bildningen av partiklar, främst då endast däck används på beläggningarna, men även då friktionsmaterial tillsätts. Detta, (i kombination med grundämnessammansättningar, som ej presenterats här) är inte helt i överensstämmelse med de finska studier som visar att friktionsmaterialet orsakar ett betydande slitage på beläggningen oavsett däcktyp, den så kallade sandpapperseffekten (Kupiainen m. fl. 2002; Kupiainen m. fl. 2003; Kupiainen m. fl. 2005). Däremot styrker WearTox resultat samma forskares resultat att sammansättning och kvalitet hos friktionsmaterialet är av stor betydelse för bildningen av partiklar. Den tvättade stenkrossen orsakade genomgående lägre halter än den otvättade natursanden, vilket antas bero på stor förekomst av fina partiklar i detta material, som kunde virvlas upp direkt.

Att en tämligen stor mängd submikrona partiklar med i huvudsak organiskt ursprung bildas vid slitageförsöken är ett oväntat och intressant resultat. Medicinska studier tyder på att ju mindre partiklarna är desto tydligare koppling finns till negativa hälsoeffekter.

Cellstudierna visar att slitagepartiklar ej bör betraktas som mindre riskabla än andra partiklar. Då de dessutom periodvis utgör en mycket stor andel av de höga partikelhalter som uppmäts finns alla anledning att försöka minska slitagepartiklarnas bidrag till omgivningsluftens partikelföreningar.

Resultaten från WearTox har, under tiden som projektet pågått, bidragit till Länsstyrelsen i Stockholms läns åtgärdsprogram för att minska partikelhalterna i Stockholmsregionen (Länsstyrelsen i Stockholms län 2004). Projektet har gett upphov till nya och mer fokuserade frågeställningar som nu behandlas i nystartade projekt finansierade av Vägverket och EMFO (Emissionsforskningsprogrammet) i samarbeten med Lunds och Stockholms universitet, Stockholms miljöförvaltning och IVL Svenska miljöinstitutet AB. VTI:s provvägsmaskin har genom detta nya forskningsområde fått en unik och intressant funktion som partikelgenerator och utnyttjas nu i fler av dessa projekt.

Referenser

Areskoug, H., T. Alesand, H.-C. Hansson, E. Hedberg, C. Johansson, V. Vesely, U. Widequist och T. Ekengren (2001). Kartläggning av inandningsbara partiklar i svenska tätorter och identifikation av de viktigaste källorna. Stockholm, ITM, Luftlaboratoriet, Stockholms universitet.

Kupiainen, K., H. Tervahattu och M. Räisänen (2003). "Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition." *The Science of the Total Environment*(308): 175-184.

Kupiainen, K., H. Tervahattu, M. Räisänen, T. Mäkelä, M. Aurela och R. Hillamo (2005). "Size and composition of airborne particles from pavement wear, tires, and traction sanding." *Environmental Science and Technology* **39**: 699-706.

Kupiainen, K. J., H. Tervahattu, T. Mäkelä, M. Räisänen, M. Aurela och R. Hillamo (2002). The Size Distribution and Composition of Abrasion Components in Road Dust. Symposium on Atmospheric Aerosols and Trace Gas Exchange Research 31.10.2002, Helsinki, Association for Aerosol Research.

Larssen, S. (1997). Svevestøv (PM10 og PM2,5) - forurensningen i Norge. Bidraget fra vegdekkeslitage. Effekt av økt piggfri-andel., NILU.

Låg, M., T. Myran, M. Refsnes, P. E. Schwarze och J. Øvrevik (2004). Veidekker: Svevestøv og helse, Rapport 2004:4, Folkehelseinstituttet.

Länsstyrelsen i Stockholms län (2004). Friskare luft -Förslag till åtgärdsprogram för att klara miljökvalitetsnormen för partiklar i Stockholms län.

SFS (2001). Förordning om miljökvalitetsnormer för utomhusluft.

Langtidsholdbare befæstelser på det danske motorvejsnet

Af Civilingeniør Bo Wamsler, Asfaltafdelingen, Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut, Danmark, bow@vd.dk

Introduktion

Infrastrukturen er af væsentlig betydning for samfundets økonomiske og sociale udvikling og behøver et effektivt vejnet med høj kapacitet. Sikkerhed og god trafikafvikling er vigtig, hvorfor forsinkelser på grund af vejarbejder må holdes på et minimum. For det overordnede vejnet medfører dette et behov for veje, hvis befæstelser har lang levetid og har minimalt behov for vedligeholdelse.

Motorvejsnettet udgør det primære vejnet i Danmark. Anlæggene af motorvejene tog sin begyndelse i 50'erne og er siden blevet udbygget løbende. I 1998 blev motorvejsnettet mellem landsdelene forbundet ved åbningen af Storebæltsforbindelsen. I dag pågår nye anlægsprogrammer for fortsat udbygning samt forøgelse af kapaciteten ved de større byer.

Netop omkring de større byer eksisterer trafikale knudepunkter, hvor behov for langtidsholdbare befæstelser synes åbenbare. En langtidsholdbar befæstelse defineres i Danmark som en befæstelse med en levetid på op til 40-50 år. I befæstelsens levetid forventes kun, at der udskiftes eller udlægges et nyt slidlag for hvert tyvende år. Befæstelsen er ellers vedligeholdelsesfri.

Det danske Vejdirektorat har i mange år opereret et Pavement Management System (BELMAN) med en database indeholdende detaljerede informationer om vejenes tilstand. I databasen er motorvejsnettet inddelt i en række mindre strækninger. For hver af disse strækninger er det muligt at indhente oplysninger om vedligeholdelsesarbejder, trafikdata, samt vejens strukturelle og funktionelle tilstand.

Da det danske anlægsprogram for motorvejene har foregået over en periode på mere end 50 år har flere design principper været i anvendelse. Fra databasens informationer er det muligt at udtrække viden omkring funktionsdygtigheden af de anvendte befæstelsers opbygninger. På denne baggrund gennemførtes en undersøgelse med det formål, at identificere design principper, hvor gode erfaringer er opnået med hensyn til befæstelsens langtidsholdbarhed.

Konstruktion og design af danske motorveje

Danske motorveje er konstrueret ud fra tre principielt forskellige design principper. De ældre motorvejsstrækninger blev konstrueret som betonveje, typisk med en 200 mm tyk betonplade på et 150 mm cementstabiliseret grusbærelag. Under bærelaget er udført et bundsikringslag i tilstrækkelig tykkelse af hensyn til beskyttelse mod frostskafer.

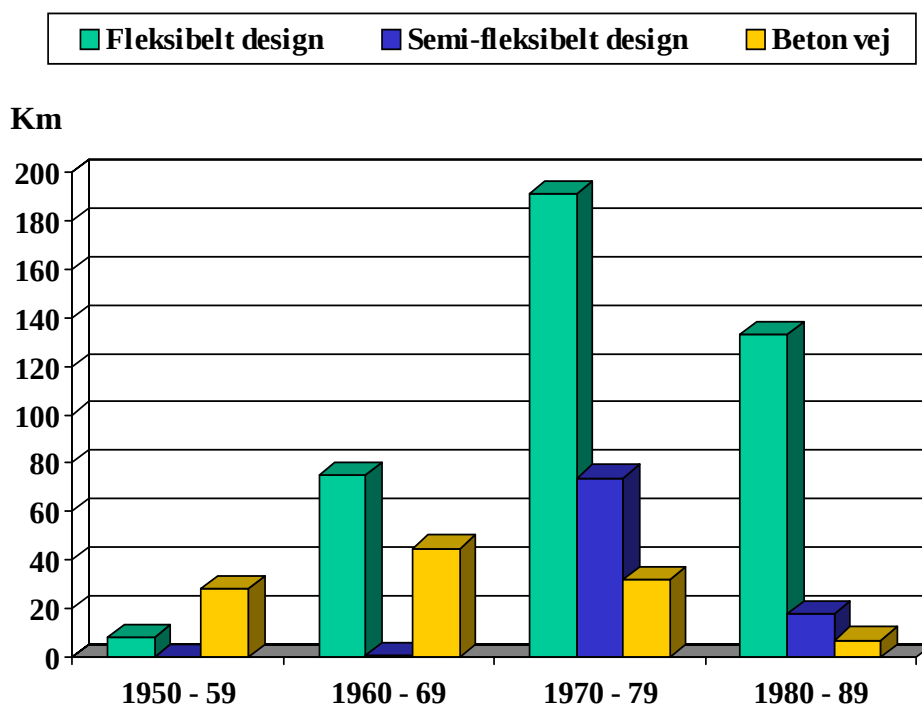
Betonvejsdesignet var dominerende indtil midten af 60'erne. På grund af problemer med holdbarheden af betonvejene blev dette design princip udfaset i 70'erne og afløst af asfaltveje.

Asfaltvejene er enten udført som et fleksibelt design eller som et semi-fleksibelt design, hvor bærelaget er cementstabiliseret. Det fleksible design består af en tre lags opbygning i asfalt på et 150 – 200 mm ubundet grusbærelag. Det semi-fleksible design består af en 120 – 200 mm asfalteroverbygning på et 180 – 200 mm cementstabiliseret grusbærelag. Begge design anvender et bundsikringslag i tilstrækkelig tykkelse af hensyn til beskyttelse mod frostskafer. Den totale tykkelse af befæstelsen inklusive bundsikringslaget vil typisk andrage mere end 900 mm over planum.

De aktuelle tykkelser af de bundne lag i det fleksible design er bestemt ved empirisk – analytisk dimensionering. Det er dog vigtigt at tilføje, at på de ældre motorveje var det normal praksis at tillægge en ekstra lagtykkelse af asfaltbærelaget ud over det teoretiske design, hvilket resulterede i relativt tykke asfalteroverbygninger på ca. 350 mm. Denne praksis ophørte i midten af 70'erne på grund af økonomiske overvejelser, hvorfor motorvejene anlagt efter midten af 70'erne typisk har en tyndere asfalteroverbygning på mellem 200 mm og 300 mm.

Det semi-fleksible design var populært op til begyndelsen af 80'erne. Desværre konstateredes adskillige problemer med refleksionsrevner og det semi-fleksible design blev opgivet. Det fleksible design blev derefter det eneste anvendte design princip i Danmark.

I 2003 var der i Danmark 1015 km motorveje. I figur 1 præsenteres en oversigt over anvendte designs fordelt over forskellige anlægsperioder.



Figur 1. Anlægsprogram af danske motorveje 1950 – 1989. Fra 1990 til 2003 er alle opbygget med fleksibelt design.

I 2003 var fordelingen af designs på det danske motorvejsnetværk som vist i tabel 1.

Betonvej:	6 %
Semi-fleksibelt design:	13 %
Fuldt fleksibelt design:	81 %

Tabel 1. Fordeling af design på det danske motorvejsnetværk 2003

Identifikation af langtidsholdbare befæstelser på det danske motorvejsnetværk

Med det formål at identificere langtidsholdbare befæstelser på det danske motorvejsnet gennemførtes en undersøgelse af den del af motorvejsnettet, som havde en tilstrækkelig alder. Det besluttedes at undersøge vejnettet anlagt før 1989. For at finde langtidsholdbare befæstelser er det nødvendigt at opstille forudsætninger, som på rimelig måde kan siges at være karakteristiske for en langtidsholdbar befæstelse. Det er åbenbart, at en sådan befæstelse skal have en lang strukturel levetid. Tages yderligere udgangspunkt i behovet for minimering af gener for trafikanter, bør en langtidsholdbar befæstelse tillige have minimalt behov for vedligeholdelse, dels i form af slidlagsarbejder og dels i form af forstærkningsarbejder.

Ses bort fra problemerne med betonvejene har de danske motorvejsstrækninger haft tilfredsstillende funktionsegenskaber. De strukturelle restlevetider er generelt stadig høj og vedligeholdelsesarbejder har været begrænset til slidlagsarbejder, og i noget omfang til reparationsarbejder af binderlaget. De observerede skader vil typisk være i de øverste 100 mm af belægningen og omfatter skader som overfladerevner, sten- og mørteltab samt sporkøring. De klassiske udmattelsesrevner ses særdeles sjældent. Vedligeholdelse af belægningsoverfladen foregår typisk ved reparationer af overfladen. Når skaderne bliver for udtalte udføres nyt slidlag.

På baggrund af ovenstående kan følgende forudsætninger opstilles under hvilke en identifikation af langtidsholdbare befæstelser (LLP) på det danske motorvejsnet kan gennemføres.

- LLP strækninger skal have lang strukturel levetid på mere end 40 år. Det vil sige, at for det undersøgte vejnet skal den strukturelle restlevetid bestemt ved faldlodsmålinger være mere end 30 år
- LLP strækninger må ikke udvise klassiske udmattelsesrevner
- På LLP strækninger skal anvendte slidlag udvise lang levetid

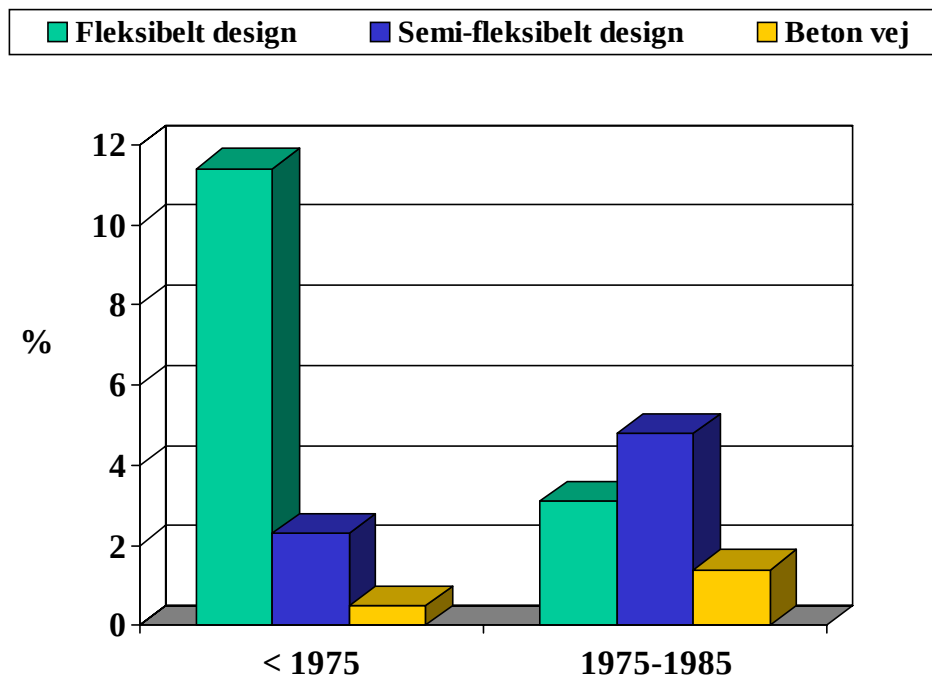
Undersøgelsen begrænsedes til den del af motorvejsnettet, som var anlagt før 1989, fordi det på det nyere net selvsagt ikke er muligt at identificere langtidsholdbare befæstelser i forhold til ovennævnte forudsætninger. Den undersøgte andel repræsenterer ca. 60% af det totale net. Fra PMS databasen var det muligt for hver delstrækning at registrere den realiserede levetid for de anvendte slidlag, hvorved strækningerne kunne grupperes i forhold til den typiske slidlagslevetid. Følgende gruppering kunne opstilles.

- Gruppe A: Levetid 17 år eller mere
 Gruppe B: Levetid 14 - 16 år
 Gruppe C: Levetid 11 - 13 år
 Gruppe D: Levetid 10 år eller mindre

Note:

Slidlagets levetid må forventes at påvirkes af trafikintensiteten, hvilket der er taget hensyn til ved grupperingen. Vedrørende slidlagstypen "Hot rolled asphalt" vil realiserede levetider opnået af denne slidlagstype fratrækkes 2 år begrundet i asfalttypens generelt højere levetid.

For at få status af langtidsholdbarhed skal en given strækning befinde sig i gruppe A. Resultatet af undersøgelsen viste, at ca. 25% af motorvejsnettet ældre end 1989 kunne identificeres som langtidsholdbare. De identificerede strækninger fordelte sig i forhold til design princip og anlægsperiode som vist i figur 2.



Figur 2. Længde af identificerede langtidsholdbare strækninger i % af total motorvejsnetværk anlagt før 1989. Betonstrækningerne er alle overlagt med asfalt

Den gennemførte undersøgelse medførte tre signifikante observationer.

1. Langtidsholdbare strækninger er hyppigere observeret på den del af motorvejsnettet, der er anlagt før 1975.
2. Langtidsholdbare befæstelser er hyppigere observeret, når det semi-fleksible design er anvendt.
3. Beton designet har ikke været succesfuldt som langtidsholdbar befæstelse.

De identificerede langtidsholdbare fleksible og semi-fleksible strækninger er yderligere undersøgt for at finde sammenhænge, som kan influere på slidlagenes levetid.

Betragtes figur 2 ser det ud til, at i perioden før 1975 var der forhold gældende, som var gavnlig i forhold til langtidsholdbarhed. Dette kunne tænkes, at have sammenhæng med den tykkere asfaltoverbygning anvendt i netop perioden før 1975. En anden observation er det forhold, at på langtidsholdbare strækninger er andelen af cementstabiliserede bærelag ca. 2,5 gange højere sammenlignet med det totale motorvejsnet indeholdt i undersøgelsen.

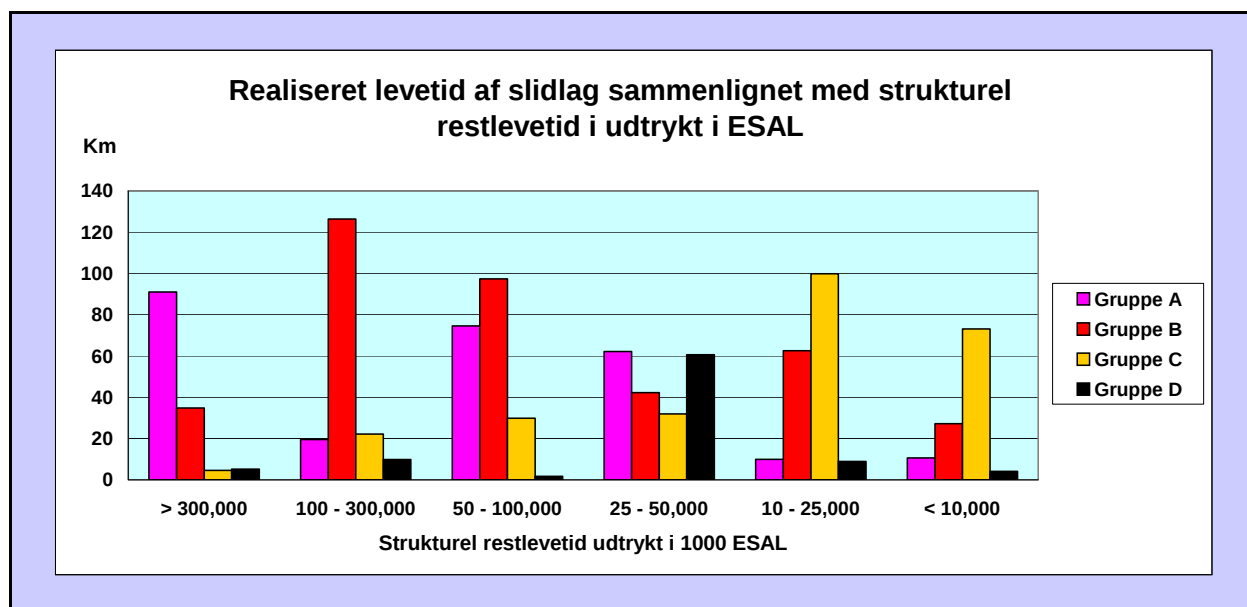
Da sandsynligheden for at finde en langtidsholdbar strækning ser ud til at stige, når asfaltlagtykkelsen er stor, eller når der er anvendt semi-fleksible design, er der en sandsynlighed for en relation mellem slidlagenes realiserede levetid og deflektionerne i belægningsoverfladen. For at teste en sådan hypotese udførtes en sammenligning mellem slidlagenes realiserede levetid i hver af grupperne A, B, C og D med målte strukturelle restlevetider bestemt på baggrund af faldlodsmålinger. I alt undersøgtes 1010 km motorvejsstrækninger (én retning), hvilket repræsenterer 80% af motorvejsnettet anlagt før 1989. Resultatet af sammenligningen er vist i tabel 2 og figur 3.

Af tabel 2 fremgår, at 70% af motorvejsnettet, indeholdt i undersøgelsen, har en strukturel restlevetid på mere end 25 millioner ESAL, hvilket i Danmark repræsenterer i gennemsnit mere end 30 års levetid. Endvidere ses at 30% af nettet har en strukturel restlevetid på mere end 100 millioner ESAL, hvor hovedparten af disse strækninger er anlagt før 1975.

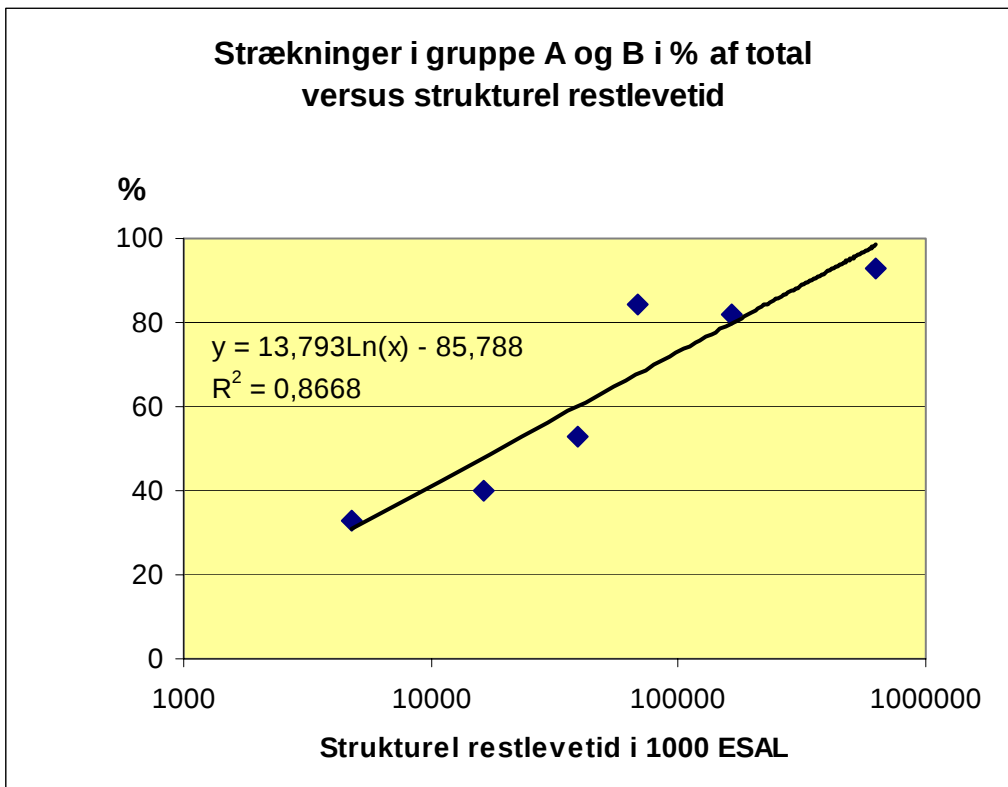
Resultatet vist i tabel 2 er plottet i figur 4 for at undersøge om den realiserede levetid af slidlagene kan relateres til den strukturelle restlevetid af befæstelsen.

1000 ESAL	> 300,000	100-300,000	50-100,000	25-50,000	10-25,000	< 10,000	Total
Gruppe A	91	20	75	62	10	11	268
Gruppe B	35	126	97	42	63	27	390
Gruppe C	5	22	30	32	100	73	261
Gruppe D	5	10	2	61	9	4	90
Total	135	178	203	197	181	115	1010
Note: Hver strækning repræsenterer en strækning kun i én retning							

Tabel 2: Fordeling af strækninger i km for gruppe A til D opdelt i intervaller af strukturel restlevetid



Figur 3. Fordeling af strækninger i km for gruppe A til D opdelt i intervaller af strukturel restlevetid (data fra tabel 2)



Figur 4. De kombinerede strækninger i grupperne A og B i % af total plottet versus strukturel restlevetid

Konklusion

Anlæg af motorveje i Danmark har fra starten i 50'erne og indtil 1989 fulgt tre forskellige design principper. I starten var det hovedsageligt betonveje, som blev anlagt, men på grund af problemer med holdbarheden afløstes dette design af asfaltveje enten som et fleksibelt design eller som et semi-fleksibelt design

Dimensioneringen af det fleksible design var baseret på empirisk - analytisk dimensionering. På den ældre del af motorvejsnettet anvendtes typisk relativt tykke asfalterbygninger, på grund af en anvendt praksis med tillæg af ekstra tykkelse af asfaltbærelaget ud over det teoretiske design. Denne praksis ophørte dog i midten af 70'erne, hvorfor de anvendte befæstelser i den efterfølgende periode var tyndere med en asfalterbygning mellem 200 og 300 mm.

Med det formål at undersøge om der på det danske motorvejsnet er strækninger, som har langtidsholdbare befæstelser, var det nødvendigt at opstille forudsætninger, der kunne karakterisere sådanne befæstelser. Da undersøgelsen blev baseret på observeret holdbarhed af motorvejsstrækninger, var det alene den ældre del af vejnettet anlagt før 1989, som undersøgelsen omfattede. De valgte forudsætninger angav, at en langtidsholdbar befæstelse skal have en levetid større end 40 år, hvorfor det undersøgte vejnet skulle have en strukturel restlevetid større end 30

år. Derudover bør en langtidsholdbar befæstelse udvise minimalt behov for vedligehold af hensyn til minimering af gener for trafikanter. Denne sidste forudsætning er i undersøgelsen omsat til at omfatte realiserede levetider af slidlagene. Den forudsatte minimum levetid af slidlagene blev sat til 17 år.

Undersøgelsen demonstrerede en række interessante forhold, når disse betragtes i forhold til hele den del af motorvejsnettet, som er omfattet af undersøgelsen. Følgende iagttagelser kan fremhæves:

- Motorvejsnettet omfattet af undersøgelsen udgør ca. 640 km. Ud af dette net er ca. 144 km identificeret at have langtidsholdbare befæstelse.
- Langtidsholdbare befæstelser er typisk anlagt før 1975. Af de identificerede langtidsholdbare befæstelser er 73% anlagt før 1975.
- Langtidsholdbare befæstelser har typisk stor bæreevne. Af de identificerede langtidsholdbare befæstelser har 77% større relativ bæreevne end gennemsnittet for motorvejsnettet omfattet af analysen.
- Langtidsholdbare befæstelser har overvægt af cementstabiliserede bærelag. Af de 144 km langtidsholdbare strækninger har 33% cementstabiliserede bærelag, hvilket kan sammenlignes med andelen af cementstabiliserede bærelag på 13% for hele motorvejsnettet på 640 km.
- Beton designet har ikke været succesfuldt som langtidsholdbar befæstelse.

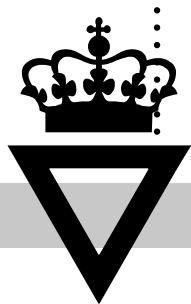
Da sandsynligheden for at finde en langtidsholdbar strækning ser ud til at stige, når asfaltlagtykkelsen er stor eller når der er anvendt semi-fleksible design, er der udført en sammenligning mellem den realiserede levetid af slidlagene og den strukturelle restlevetid tilbageberegnet fra faldlodsmålinger. Sammenligningen viste en korrelation mellem den realiserede levetid af slidlag og målte strukturelle restlevetider.

4. FORSKNINGSPROJEKT SOM PRESENTERATS VID FÖRBUNDS- UTSKOTTSMÖTET I UPPSALA 2006



Asfaltutskottets forsknings- och utvecklingspris 2006

Efter omröstning bland medlemmarna i förbundsutskottet utsågs Mats Wendel från Sverige till 2006 års mottagare av Beläggningsutskottets forsknings- och utvecklingspris.



Vejdirektoratet

Udvikling af støjreducerende tyndlagsbelægninger til motorveje

Analyse af støjmålings data

Sigurd N. Thomsen Civilingeniør Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut Guldalderen 12 Postboks 235
2640 Hedehusene Danmark. Tlf.: 46 30 71 35 E-Mail: snt@vd.dk

Introduktion

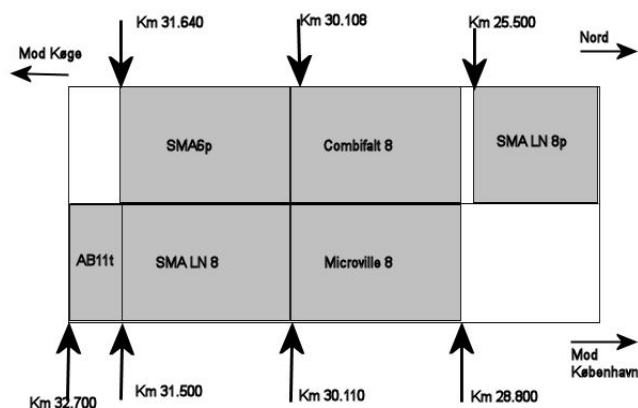
I perioden fra 2004 til 2007 har det danske Vejdirektorat og det hollandske "Road and Hydraulic Engineering Institute" indgået et projektsamarbejde omhandlende støjreducerende tyndlagsbelægninger. Et af formålene i samarbejdet er udvikling og test af tyndlagsbelægninger med en åben overflade struktur, og som er optimeret for støjreduktion. Som en del af dette projektsamarbejde gennemføres et forsøgsprojekt på en dansk motorvej. Forsøget blev oprindeligt startet af Vejdirektoratet i 2004. Det omfatter fem forsøgsbelægninger inklusiv en referencebelægning, som alle blev udlagt i 2004 (år 0). En sjette tyndlagsbelægning blev udlagt i 2005 (år 1), og er nu også inkluderet i projektet. Forsøgsbelægningerne ligger på M10-Køge Bugt motorvejen ved Solrød, som ligger syd for København. For at kortlægge tyndlagsbelægningernes støjreducerende effekt, samt den akustiske og strukturelle levetid er der udført støjmålinger, texturmålinger og friktionsmålinger. Første databehandling af støjmålinger er gennemført og afrapporteret [1]. I dette 'paper' sammenlignes/kommenteres de analyserede støjmålings data.

Støjgenererende mekanismer

De støjgenererende mekanismer der er forbundet med kontakten mellem dæk og vejoverfladen kan deles op i to grupper, en hvor støjen opstår som følge af dæk vibrationer, og en hvor støjen opstår som følge af aerodynamiske forhold fx luftpumpestøj, hvor luft fanges mellem dæk og vejbanen og presses væk langs forkanten af dækkets trædeflade, og suges ind ved bagkanten af trædefladen. Dæk vibrationer under 1000 Hz reduceres ved jævn belægning med små sten. Luftpumpestøj reduceres ved en åben overflade struktur

Forsøgsbelægningerne

Først lidt om M10-Køge Bugt Motorvejen. Den består af 3 vognbaner i hver retning samt et nødspor. Hastighedsgrænsen for personbiler er 110 km/t og 85 km/t for tunge køretøjer. Den årlige døgntrafik er ca. 80.000. Forsøgsbelægningerne udlagt i 2004 strækker sig fra km 28.800 til 32.700, belægningen udlagt i 2005 strækker sig fra km 23.870 til km 27.143 og fra km 27.292 til km 28.800 i retning mod Køge. Figur 1 viser en skitse over forsøgsbelægningernes placering.



Figur 1: Skitse over placering af forsøgsbelægningerne på Køge Bugt motorvejen (M10) ved Solrød. [1].

Belægningstekniske data

Af Tabel 1 ses udvalgte dele af belægningernes tekniske data. Som referencebelægning blev en asfaltbeton med maksimal stenstørrelse på 11 mm anvendt. Denne belægningstype anvendes normalt som støjmæssig reference i Danmark. En kort beskrivelse af forsøgsbelægningerne ses nedenfor:

- *SMA LN 8: En skærvemastiks asfalt med en maksimal stenstørrelse på 8 mm, opbygget som en drænasfalt. Dele af hulrummene bliver opfyldt med bitumen og filler, således at belægningen får en åben overfladestruktur. Ifølge de danske vejregler kan belægningen bedst karakteriseres som en SMA8.*
- *Microville 8: En åbengraderet asfaltbeton med en maksimal stenstørrelse på 8 mm, udlagt i et tykt klæbelag. Ifølge de danske vejregler kan belægningen bedst karakteriseres som en AB8å*
- *Combifalt 8: En tyndlagsbelægning med en maksimal stenstørrelse på 8 mm, belægningens danske betegnelse er TB8k. Først udlægges et tykt lag polymer modificeret bitumen emulsion, hvorefter der udlægges en meget åben asfaltbeton. Emulsionen trænger op igennem belægningen og lukker hulrummene fra neden.*
- *SMA 6+: En skærvemastiks med en maksimal stenstørrelse på 6 mm, med en del 5/8 mm skærver tilsat. Kan bedst karakteriseres som en SMA6 ifølge de danske vejregler.*

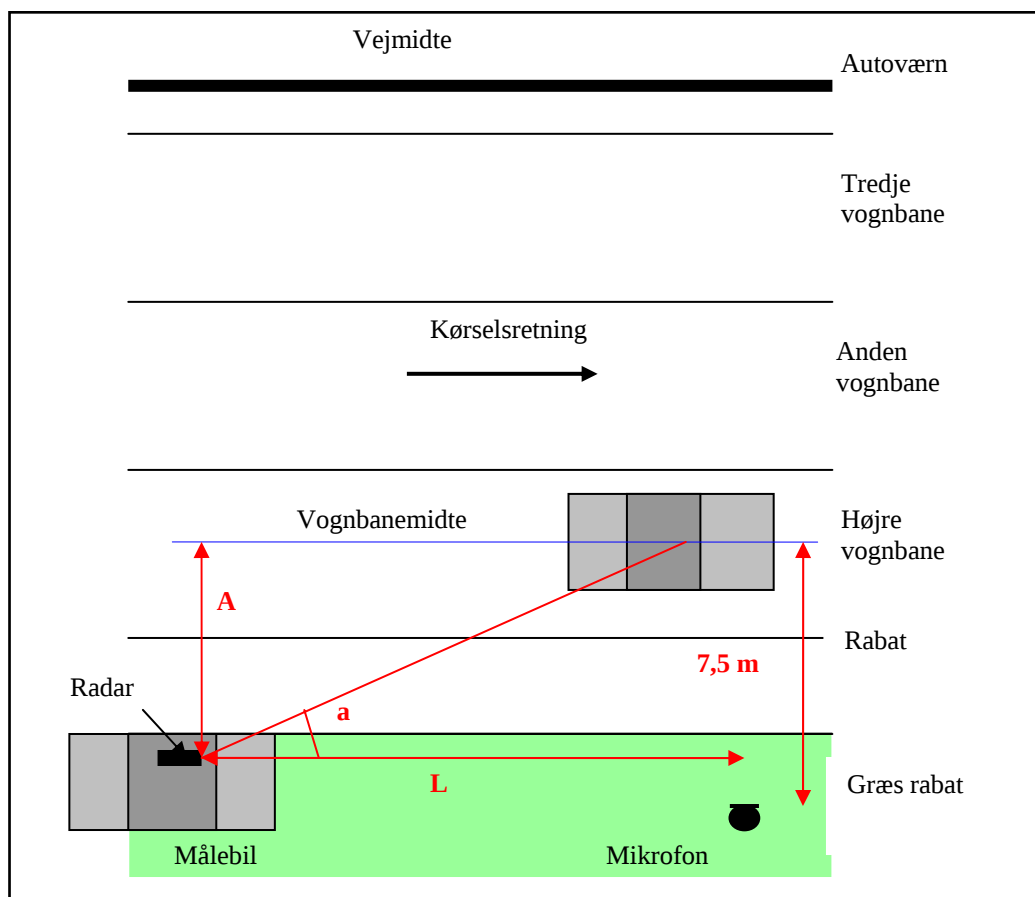
- *SMA LN 8+: En skærvmastiks asfalt med en maksimal stenstørrelse på 8 mm, med en del 8/11 mm skærver tilsat. Kan bedst karakteriseres som en SMA 8 ifølge de danske vejregler.*

Forsøgsbelægning	Maks. stenstørrelse [mm]	Tykkelse [mm]	Indbygget hulrum [%]
AB11t (reference)	11	33	2,8
SMA8 (SMA LN 8)	8	29	12,4
AB8å (Microville 8)	8	28	15,3
TB8k (Combifalt 8)	8	22	14,4
SMA6+ (SMA 6)	6+5/8	26	3,0
SMA8+ (SMA LN 8+)	8+8/11	-	5,7

Tabel 1: Tekniske data på forsøgsbelægningerne. Belægningernes tekniske betegnelse såvel som firmabetegnelse (i parentes) er angivet i tabellen. [1].

Målebetingelser

Figur 2 viser en skitse af støjmåleopstillingen. Der blev kun målt på køretøjer i højre vognbane. Støjmålingerne blev udført efter ISO 11819-1 [2] (SPB-metoden), som er den internationale standardiserede målemetode for kategorisering af, hvordan belægninger påvirker vejtrafikstøj. Hvor støjen måles på de forbipasserende køretøjer, køretøjernes hastighed og type registreres også. De meteorologiske forhold, mens målingerne blev udført er vist i Tabel 2. Den lille temperatur forskel imellem belægningerne har ingen signifikant betydning, når måleresultaterne sammenlignes indbyrdes. På grund af den korte afstand mellem målemikrofonen og køretøjer, hvis støjstråling ønskes målt, påvirkes måleresultaterne generelt ikke af vindstyrke og retning.



Figur 2: Skitse af måleopsætning. Støjen måles på bilen der kører i højre vognbane [1].

År	Udsving i luft temperatur [°C]	Udsving i belægnings temperatur [°C]
2004	7 til 9	0 til 4
2005	3 til 7	-6 til 2

Tabel 2: Meteorologiske forhold mens støjmålingerne blev udført. [1].

Nedenfor ses køretøjkategorierne der indgik i SPB-målingerne:

- Personbiler (P)
- To-akslede lastbiler/busser (L)
- Fler-akslede lastbiler/busser (F)

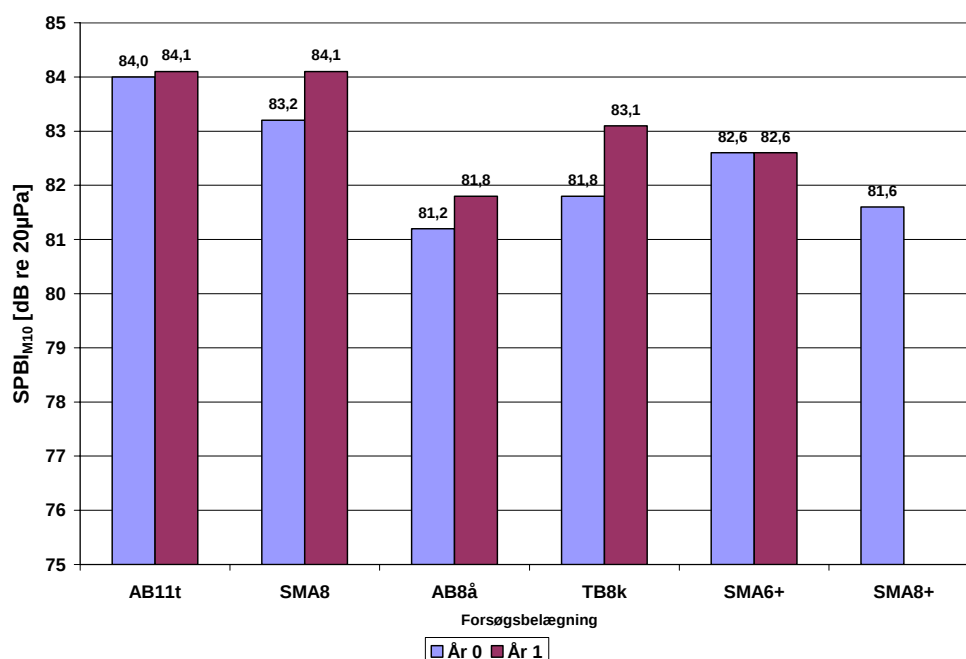
Som et minimum skal der ifølge [2] indgå 100 af kategori (P), 30 af kategori (L), 30 af kategori (F), og desuden samlet 80 af kategorierne (L+F). Derved opnås et resultat der er repræsentativt. Disse krav blev stort set opfyldt, på nær ved SMA8+ belægningen hvor der kun blev målt på 38 personbiler.

Måleresultater

For at sætte et tal på hvor meget en belægning støjer, er der for målte støjniveauer ved alle forsøgsbelægninger beregnet et såkaldt 'Statistical-Pass-by index' SPBI. I dette indeks indgår de målte støjniveauer for de tre køretøjskategorier vægtet med en køretøjfordelingsfaktor.

Støjniveauer

SPBI indekset afbildet i Figur 3 er et modificeret indeks hvor den faktiske trafikfordeling er anvendt. Ubestemthed er $\pm 0,4$ dB for alle $SPBI_{M10}$ indekser. Dog er ubestemtheden for AB8å og SMA6 i år 0 og TB8k i år 1 dog $\pm 0,5$ dB.

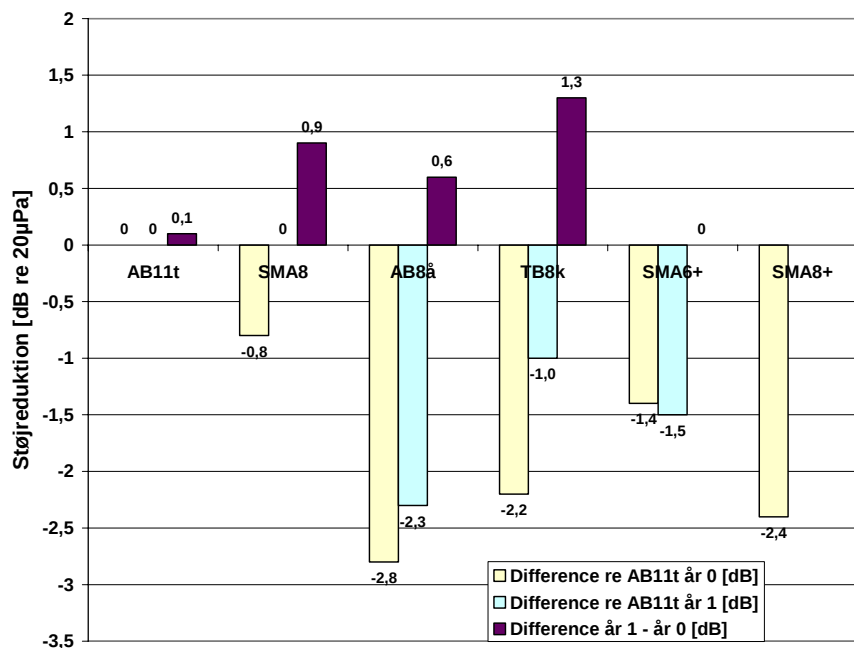


Figur 3: Modificeret SPBI indeks $SPBI_{M10}$ (re 20µPa) for hver af forsøgsbelægningerne. Faktisk trafikfordeling anvendt. Reference hastigheden for personbiler er 110 km/t og 85 km/t for tunge køretøjer. [1].

Af Figur 4 fremgår, at der i forhold til reference belægningen var en støjreduktion på godt 1 til 3 dB i år 0. Ved SMA6+ belægningen var støjreduktionen 1,5 dB, hvor støjreduktionen for TB8k, AB8å og SMA8+ belægningerne var 2 til 3 dB. Bemærk at, ved SMA8+ belægningen indgik der kun 38 lette køretøjer på grund af den tætte trafik. Ubestemthed på måleresultatet var dog kun $\pm 0,4$ dB. Støjreduktionen ved SMA8 belægningen var ikke signifikant i år 0 og i år 1.

Støjniveauet ved reference belægningen var uændret i år 1 (se Figur 3), hvor en stigning på 1 dB var ventet. Generelt var der 1 dB stigning i $SPBI_{M10}$ indekserne for de andre forsøgsbelægninger. Hvilket var

hovedårsagen til den mindre effektive støjreduktion i år 1 i forhold til år 0.
Den bedste støjreduktion blev målt ved AB8å belægningen på 2,3 dB.

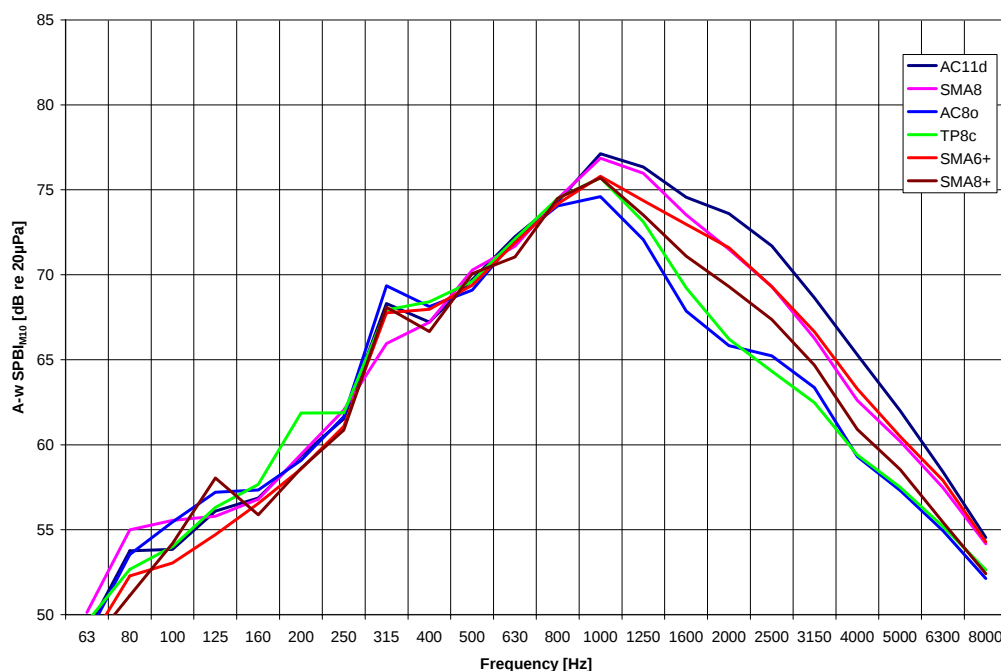


Figur 4: Støjreduktion i forhold til reference belægningen samt forskel imellem SPBIM10 indeks for år 1 til år 0.

AB8å og SMA8+ havde den bedste støjreducerende ydeevne. Det samme kunne siges om TB8k belægningen i år 0, hvor støjniveauet steg i år 1. SPBI_{M10} indekset ved referencen og SMA6+ belægningen var uændret i år 1.

Spektral analyse

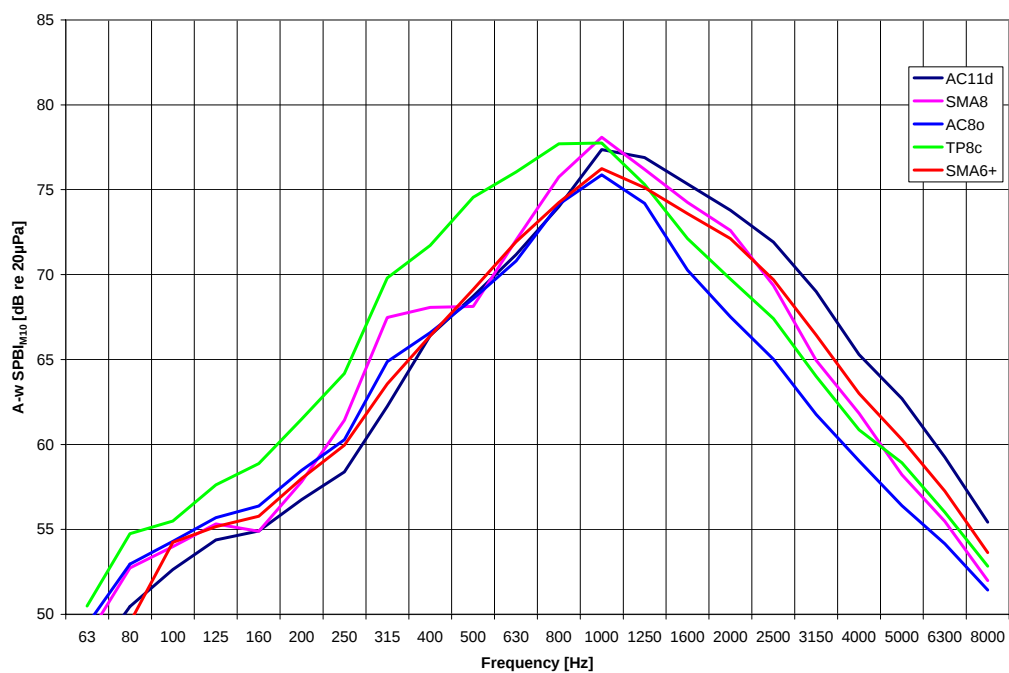
Resultatet af spektral analysen kan ses i Figur 5 og Figur 6 for blandet trafik (SPBI_{M10} indekset). I år 0 (se Figur 5) ses at under 800 Hz er frekvens spektra meget ens, i dette område er vibrationer fra dæk og støj fra bilens motor dominerende. Hvilket antyder, at der ikke var nogen signifikant reduktion i støjen fra vibrationer fra dæk og fra motoren. Over 1000 Hz er luftpumpe støjen dominerende, her ses tydeligt at støjreduktionen i forhold til referencen sætter ind. Spektre for SMA8 og SMA6+ belægningerne over 1000 Hz ligner meget hinanden og ligger lige under referencen. Derunder SMA8+ og siden AB8å og TB8k. De tre sidst nævnte belægninger har det laveste SPBI_{M10} indeks.



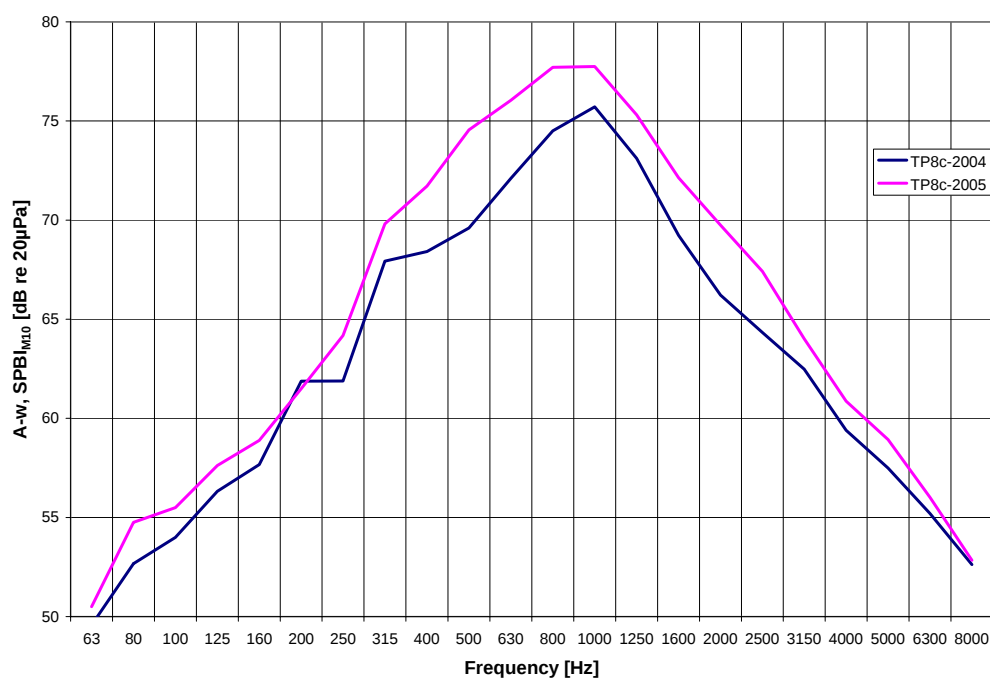
Figur 5: 1/3-oktav frekvensbånd A-vægtet $SPBI_{M10}$ (blandet trafik) energi gennemsnits spektre, år 0. [1].

I år 1 (se Figur 6) er spektrenes rækkefølge fra top til bund den samme, dog er der en større afstand mellem spektrene for AB8å og TB8k belægningen.

Ændring i spektra fra år 0 til år 1 var ikke bemærkelsesværdigt foruden for TB8k belægningen (se Figur 7). Der er en markant stigning i det lavere frekvensområde i år 1 i forhold til år 0. Dette indikerer at bl.a. støjen fra vibrationerne i dækkene er blevet forøget. Der ses også en mindre forøgelse af den højfrekvente støj, hvilket indikerer en forøgelse af støjen fra luftpumpning.



Figur 6: 1/3-oktav frekvensbånd A-vægtet SPBIM10 (blandet trafik) energi gennemsnits spektre, år 1. [1].



Figur 7: TB8k, 1/3-oktav frekvensbånd A-vægtet SPBIM10 (blandet trafik) energi gennemsnits spektre, år 0 og år 1. [1].

Konklusion

Når den faktiske trafikfordeling på M10 blev anvendt i beregningen af $SPBI_{M10}$ indekset blev der opnået en støjreduktion i forhold til referencen på 0,8 til 2,8 dB. Den udvidede ubestemthed lå på godt $\pm 0,4$ dB. De målte støjreduktioner er alle signifikante i forhold til ubestemthederne på målingerne. Dog er støjreduktion på 0,8 dB ved SMA8 belægningen ikke signifikant.

Støjniveauet ved referencen i år 1 var uændret, hvor en stigning på 1 dB var forventet. Ved den andre belægninger var der generelt en stigning i støjniveauet på omkring 1 dB, hvilket var hovedårsagen til at støjreduktionen i år 1 var mindre i forhold til år 0.

AB8å og SMA8+ gav de bedste støjreduktioner, det samme gjorde sig gældende for TB8k belægningen i år 0. Dog afslørede 1/3-oktav frekvensanalyse en betydelig stigning i det lavere frekvensområde i år 1.

Delprojektets formål er at teste den akustiske og strukturelle langtidsholdbarhed. Derfor vil målingerne blive videreført både i 2006 og formodentlig i de kommende år.

Referencer

- [1] Test of thin layers on highway. Year 1 measurement report. Milestone – M4. 2006, Vejdirektoratet.
- [2] DS/ISO 11819-1: 1997. "Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on road traffic noise – Part 1 : The statistical pass-by method". 1997-09-15.

NVF 33
Uppsala 19. juni 2006

Exposure, lung function decline and systemic
inflammatory response in asphalt workers

Bente Ulvestad
Bedriftslege Mesta AS

Exposure, lung function decline and systemic inflammatory response in asphalt workers

Bente Ulvestad¹, MD, PhD, Britt Grethe Randem², MD, PhD, Siri Hetland³, MSc, Gudmunda Sigurdardottir¹, RN, Egil Johannessen¹, RN, Torstein Lyberg⁴, MD, PhD.

1 Department of Occupational Medicine, Mesta AS, P.O. Box 5133, 1503 Moss, Norway

2 Department of Occupational Medicine, Ulleval University Hospital, 0407 Oslo, Norway

3 Eurofins Norway, P.O. Box 147 Bryn, 0611 Oslo, Norway

4 Center for Clinical Research, Ulleval University Hospital, 0407 Oslo, Norway

Abstract

Objectives: To study if exposures in asphalt paving are associated with changes in lung function, blood concentrations of interleukin-6 (IL-6), micro-CRP and fibrinogen during a working season in asphalt pavers.

Methods: Blood samples from all the asphalt workers (n=140) of Norway's largest road construction and maintenance company were taken in April/May 2005, before the asphalt season started. New blood samples were taken before the asphalt season ended, i.e. September/October 2005. Spirometric tests were done at the same time. Exposure to total dust, oil mist, PAHs and gases was measured by personal samplers during the asphalt season.

Results: According to exposure, the entire study group was divided into two groups, asphalt pavers (N=81) and a control group of asphalt plant operators and lorry drivers (N=54). There was an increase in the geometric mean plasma concentration of IL-6 in asphalt pavers, from 1.55 pg/ml before starting the season to 2.67 pg/ml at the end of the season ($p=0.04$, adjusted for current smoking). For fibrinogen and micro-CRP no significant increases were found, but the increases for both were correlated to the increase in IL-6. FEV₁ and FEF₅₀ were significantly decreased in the asphalt workers compared to the control group at the beginning of the season. The screedmen, a group of the pavers, had a statistically significant decrease in FVC and FEV₁ after one season of asphalt work when compared with all other asphalt workers ($p<0.05$).

Conclusion: Exposures in asphalt paving enhances the risk of lung function decline.

Keywords: Interleukin-6, micro-CRP, oil mist

Asphalt paving is used for road construction and road maintenance and is carried out all over the world. In Norway, 5 million tons of asphalt is laid down every year, and about 3000 workers are involved in production and application of various asphalt mixes. The asphalt season in Norway is short, with duration from April to October in most of the country.

Air pollution is a public health issue, constitutes a health problem for the workers in the heavy construction industry, and is also a problem for workers involved in asphalt paving. Air pollution may affect lung function and has also been shown to affect the immune system [1, 2, 3, 4]. Asphalt workers are exposed to bitumen fumes, oil mist and vapor, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and vehicle exhaust (nitrogen dioxide (NO₂), CO) [5]. Studies have reported enhanced mortality from respiratory diseases in asphalt workers. A standardized mortality ratio (SMR) of 207 (95% CI=95, 393) from bronchitis, asthma and emphysema in mastic asphalt workers was reported in 1991 [6]. The asphalt worker mortality study involving 29 820 European asphalt workers reported that relative to construction workers, asphalt workers had a risk ratio (RR) of 1.36 (95% CI=1.06, 1.74) of dying from a non-malignant respiratory disease [7]. Cross sectional studies have shown increased risk for respiratory symptoms among asphalt workers compared to road maintenance workers [8]. Adverse respiratory effects and systemic inflammatory responses in workers exposed to dusts and fumes have recently been reported in several different occupations; welders [9], fire-fighters [10, 11] salt miners [12] and tunnel workers [13, 14, 15].

In an earlier cross sectional survey we found that asphalt work increased the occurrence of respiratory symptoms and airflow limitation in the workers compared to heavy construction workers [16]. However, exposure measurements were not carried out, and we were not able to point out which exposures or work tasks that were of importance. Neither did we investigate

signs of systemic inflammation. The present report presents the results of a parallel and larger cohort. We hypothesized (a) that workers exposed to air pollutants during asphalt work would have a higher risk of accelerated decline in lung function than other road construction workers, (b) that exposure to bitumen fumes would be associated with signs of inflammation as indicated by inflammatory markers, and (c) that these findings would be related to job tasks and differences in exposure to particles and/or gases during the asphalt season. We also hypothesized that smoking status would modify the association [17].

Material and methods

SUBJECTS

All the asphalt workers (n=140 males) employed in Norway's largest road construction and road maintenance company were studied in April/May 2005, before the asphalt season started. As a reference group 126 male road construction workers (machine operators) belonging to the same company were included in the study. The group of asphalt workers was studied again just before the asphalt season ended, September/October 2005. Demographic data of the study subjects are given in table 1. The study was approved by the National Data Inspectorate and the Regional Medical Board of Ethics.

DESCRIPTION OF ASPHALT WORK

Asphalt consists of bitumen, as a binder, mixed with crushed stone. In road paving the bitumen content is usually 4-5%. Bitumen is the residue of distillation of selected petroleum crude oils. The type of bitumen and the size of the gravel vary with the properties requested from the road surface. Filler and/or fibres may also be added in order to modify the properties of the asphalt, and small amounts of aliphatic amines are used to improve the binding between the bitumen and the stone material.

Asphalt is produced by heating and drying the gravel and mixing the hot bitumen with it. The asphalt is transported to the paving site by lorries and emptied onto the front of the paving machine. The asphalt passes underneath the machine and is spread to the desired width by the screed. Two screedmen control asphalt discharge through the screed and they fix the edges of the asphalt on the road manually. Subsequently, a roller compresses the asphalt.

EXPOSURE ASSESSMENT

Sampling strategy. Measurements were carried out between April and October 2005 to assess exposure in modern asphalt work. A random sample of workers representing different work tasks was asked to participate in the exposure assessment. Participation was on voluntary basis, but all the selected workers decided to participate.

Exposure to dust and gases was determined by means of personal sampling and two or more agents were measured simultaneously for each person for at least 2 days. The sampling duration was 7-8 hours because of the limited battery capacity of the sampling equipment. The sampling time was considered representative for the whole work shift because the same tasks were repeated all the time.

Sampling methods and analyses.

Total dust and particulate polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were collected on glass fiber filters (Whatman International Ltd, Maistone, UK), fitted in 37 mm closed-faced aerosol filter cassettes (Millipore Corporation, Bedford, MA, USA). Gaseous PAHs were collected on tubes filled with the adsorbent XAD-2 (SKC, Blandford Forum, UK). Filters and tubes for collection of particulate and gaseous PAHs were mounted in series during sampling. The sampling flow rate was 2 L/min. The particle mass was measured by microbalance (Metler Toledo AT261, Columbus, OH, USA), with a detection limit of 0,031 mg/m³ based on 8 hours sampling. Total PAHs (16 EPA) were measured by gas chromatography (GC) with a mass selective detector (MS). The detection limits of PAHs were 0,005-0,010 µg/m³ depending on the specific component, based on 8-hours sampling at a flow-rate of 2 L/min.

Oil mist was collected on glass fiber filters (Whatman) and oil vapor was collected on tubes containing XAD-III (SKC, Blandford Forum, UK). Filters and tubes for collection of oil mist

and oil vapor were mounted in series during sampling. The sampling flow rate was 2 L/min. Oil mist was measured by using a Fourier transform (FT-IR) spectrophotometer, PE-1600, and oil vapor was measured by chromatography (CG) with a flame ionization detector (FID). The detection limit of oil mist and oil vapor was 10 µg and 5 µg, respectively.

Respirable dust was collected on 37 mm cellulose acetate filters with a pore size of 0,8 µm using a cyclone separator (SKC) at a sampling flow rate of 2,2 L/min. The particle mass was measured gravimetrically (with a detection limit of 0.03 mg) and the alfa-quartz content in the respirable dust sample was measured by using the FT-IR PE-1600 spectrophotometer. The detection limit was 1.7 µg.

The carbon monoxide and nitrogen dioxide concentrations were measured with direct-reading electrochemical sensors with a data-logging facility built into the instrument (type PAC III, Dräger Aktiengesellschaft, Lübeck, Germany). An averaging period of one reading every 2 minutes was selected. The detection limits of carbon monoxide and nitrogen dioxide measurements were 2 ppm and 0.2 ppm, respectively.

ASSESSMENT OF RESPIRATORY HEALTH EFFECTS

Spirometric tests

The lung function tests were performed between 7 and 10 o'clock in the morning shortly before the asphalt season started in both asphalt workers and controls. Shortly before the asphalt season ended, the lung function tests were performed again in the asphalt workers at the same time of day. Other workers were not reexamined due to study constraints. Subjects who reported physician-diagnosed asthma were tested, but excluded from the statistical analyses. All the participants included had to be free from respiratory infections for 3 weeks prior to testing.

Spirometric measurements were performed in the sitting position with a Spirare SPS310 spirometer, using bi-directional ultrasound transit time measurements. The spirometer was operated by the same three trained technicians. The spirometer was controlled by a 3 liter syringe. The subject was wearing a nose clip. The measurements were performed in accordance with the guidelines recommended by the American Thoracic Society [18]. Each subject performed at least 3 preferably identical forced vital capacity curves (i.e. within a variation of 50 ml or a maximum of 3%). The best independent values were selected for statistical analysis.

The following variables were recorded: forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV_1), and forced expiratory flow rate from 50% of the FVC ($FEF_{50\%}$). The lung function variables were expressed in absolute values and as percentage of the predicted value according to the reference values of European Coal and Steel Community (ECSC) [19].

Questionnaire

Information on age and smoking status was obtained from a general questionnaire used in an earlier cross-sectional study [16]. Questions included whether the subject had allergies or had had the diagnosis of asthma set by a physician. The workers answered the questionnaire before the first examination. Subjects were classified as never smokers, former smokers and current smokers. Former smokers were those who stopped smoking more than 12 months earlier. In current and former smokers the quantitative effect of smoking was measured in pack-years. Pack years were calculated by multiplying the duration of smoking (in years) by the average number of cigarettes smoked daily divided by 20 (table 1).

A questionnaire was also distributed at the point of follow up. The asphalt workers were asked about job tasks they had had during the season and were divided into groups according to the tasks they most often had executed. The job tasks were: lorry driver, paver operator, screedman, roller driver, asphalt stripper, and asphalt plant operator.

ASSESSMENT OF INFLAMMATORY RESPONSES

Blood samples were taken for the analysis of IL-6, fibrinogen, C-reactive protein (micro-CRP), and cholesterol (total and HDL). The workers had been told not to smoke, drink or eat after midnight before examination. The blood samples were taken between 6 and 10 o'clock in the morning shortly before the asphalt season started. Shortly before the asphalt season ended, new blood samples were taken at the same time of day. The blood plasma samples, anticoagulated with citrate, EDTA and heparin, respectively, were kept on ice until 60 minutes before they were centrifuged at 2000g for 15 minutes. The blood serum samples were kept at room temperature for coagulation from 60 – 120 minutes before they were centrifuged at 1300g for 15 minutes. Plasma and serum were then frozen in cryotubes on dry ice and transported to the Ulleval University Hospital where they were transferred to -70°C.

EDTA plasma samples were analysed for the concentration of IL-6 two months after the asphalt season ended. Before- and after season samples were analysed at the same time at Centre for Clinical Research, Ulleval University Hospital of Oslo, Norway. The IL-6 was measured with the commercial enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) kit Quantikine HS from R & D systems, Abingdon, UK. The sensitivity of the assay is 0.039 pg/ml. The other blood analyses were performed at the Department of Clinical Chemistry at Ulleval University Hospital. The fibrinogen concentration in citrate plasma was measured according to Clauss (20) using reagents from bioMericux, Durham, NC, U.S.A as adapted to their Stago

analyzer. High sensitivity CRP was determined by an immunoturbidometric method (Roche, Basel, Switzerland) using a Hithachi 917 Analyzer. The sensitivity of the assay is 0.03mg/ml.

DATA ANALYSIS

With the use of cumulative probability plots, the exposure data were found to be best described by log-normal distributions and were ln-transformed before further statistical analyses. The measured exposure values were used without further adjustment as they were regarded as representative of the whole work shift. Standard measures of central tendency and distributions (arithmetic (AM) and geometric means (GM) and geometric standard deviations (GSD)) were calculated. Kruskal-Wallis tests were used to evaluate the differences in the exposure levels among the job task categories. Mann-Whitney tests were used for two-group comparisons for total dust and total PAHs and IL-6. The relationship between the changes in IL-6, fibrinogen and micro-CRP and job category was tested by a one-way analysis of variance (ANOVA).

The lung function variables were presented as percentages of the predicted values. The relationship between lung function variables and the covariates occupational group, smoking status (pack years) and body mass index (BMI) was investigated by means of analysis of variance (ANOVA).

The change in lung function in the asphalt workers over the asphalt season (Δ FVC, Δ FEV₁, and Δ FEF₅₀), was defined as the difference between lung function at the start of the asphalt season and the lung function at the end of the season. Individual lung function changes were evaluated by comparing the lung function before and at the end of the period using paired t-tests. The relationship between the changes in lung function and job task category was tested

by one-way analysis of variance with Bonferroni post hoc tests. Potential confounders (age, height, smoking status, and allergy) were evaluated for their effect using at multiple linear regression.

Statistical analyses were carried out in SPSS (version 13.0).

Results

EXPOSURE

A total of 42 asphalt workers carried personal samplers in the exposure study, and most (90%) were monitored on more than one occasion.

The asphalt strippers had a significantly higher exposure to total dust than the other asphalt workers ($p < 0.001$) (table 2). The asphalt paving group (paver operators, screedmen and roller drivers) had a significantly higher exposure to total PAHs compared with other asphalt workers (lorry drivers, asphalt strippers and plant operators) (table 2).

Although the geometric mean exposure to nitrogen dioxide was less than 1 ppm for all groups, the paving group may be exposed to higher levels when paving asphalt in tunnels (max 3.4 ppm measured). Although the geometric mean exposure of oil mist was less than 0.3 mg/m^3 , also the exposure to oil mist can be significant in some occasions. Oil mist was on one occasion measured to 1.7 mg/m^3 in an asphalt paving machine without cabin.

Only a few analyses of respirable dust, volatile organic compounds and carbon monoxide were done, due to previous analyses determining low concentrations.

CLINICAL AND LABORATORY FINDINGS AT THE START OF THE SEASON

The asphalt workers and the reference group of machine operators were comparable with respect to age, height, BMI, smoking habits and occurrence of allergy (table 1). Eight (7.5%) of the asphalt workers and nine (5.7%) of the machine operators reported physician-diagnosed asthma.

FEV_1 and FEF_{50} were significantly decreased in the asphalt workers compared to the machine operators (table 3). There appeared to be no statistically significant differences in FVC between asphalt workers and controls, though asphalt workers tended to have lower lung

function parameters. Lung function decline was not correlated to duration of employment in asphalt work.

The results of the IL-6 measurements are shown in table 4. There were no statistically significant differences between the asphalt pavers and the control group when comparing the before season values. For the entire study group, the smokers had statistically significant higher values of IL-6 than the non-smokers before season (GM = 2.11 ng/l (GSD = 1.89) versus GM = 1.39 ng/l (GSD = 2.06), $p = 0.026$).

CLINICAL AND LABORATORY FINDINGS AT THE END OF THE SEASON

Eight asphalt workers were lost to follow up, three due to deer hunting during the follow-up period, five had left the job. In addition, eight asphalt workers used asthma medicine and were excluded from the analyses, leaving 124 to follow up.

The results of the lung function changes of the asphalt workers are shown in table 5. For the entire follow up group, the mean values of the FVC, FEV₁ and FEF₅₀ at the start of the survey were 98%, 94% and 87% of the predicted values, respectively. There were no statistically significant differences between the job task groups for the before season values. The screedmen had a statistically significant decrease in FVC and FEV₁ after a season of asphalt work when compared with all other asphalt workers ($p < 0.05$). There were no significant differences between the other job task groups (table 5).

Among the screedmen the non smokers showed an average decrease in FEV₁ of 51 ml versus the smokers who had a decrease of 146 ml during the asphalt season. The difference between non-smokers and smokers was not significant (table 5).

The asphalt pavers had a statistically significant increase in IL-6 during the asphalt season compared with the control group prevailing when adjusted for current smoking (table 4).

Only non-smokers showed a significant increase in IL-6 during the asphalt season (Δ IL-6 = 1.18 ng/l (GSD = 1.76)). Plasma fibrinogen and serum micro-CRP levels did not increase significantly in the workers over the season, but were correlated to increase in IL-6 levels (Spearman's $\rho=0.47$, $p=0.0001$ for micro-CRP, and $\rho=0.42$, $p=0.001$ for fibrinogen).

Discussion

Our findings provide new evidence that employment in modern asphalt paving may lead to decrease in lung function during the asphalt paving season, and that the change is accompanied by an inflammatory response in interleukin-6. The asphalt workers in the present study had a significantly lower FEV₁ (% of predicted) and FEF₅₀ (% of predicted) than other road maintenance workers (machine operators) at the start of the asphalt season. The lung function of the screedmen decreased on average 2.7 % for FVC and 2.4 % for FEV₁ during the asphalt season. This supports the suggestion from other studies [6, 7, 16] that asphalt paving work may be a contributing factor to development of obstructive lung diseases. Accelerated loss of lung function may be linked to risk of developing lung disease including chronic pulmonary disease, COPD [21]. There is also an association between rapid rate of decline in lung function and coronary heart disease [22].

It is not clear, however, which agent(s) caused the observed lung function changes because the exposure of the paving team, also of the screedmen, was low to moderate as compared with the Norwegian occupational exposure limits (6-48% of the limits for total dust). There was a significant difference in exposure to total PAHs between the asphalt paving team (screedmen, paver operators and roller drivers) and the other asphalt workers (lorry drivers and asphalt plant operators). The personal measurements of total PAHs exposure of the study participants showed, however, low levels compared to the occupational exposure limits. Oil mist was only measured among screedmen, paver operators and asphalt strippers, but was correlated to total PAHs. Oil mist was the only exposure that in one situation was measured above the occupational exposure limit and otherwise one fourth of the measurements showed levels being above one-third of the occupational exposure limit. Oil mist has been reported to cause airway obstruction [23].

The exposure of the screedmen did not differ from the exposure of the rest of the asphalt paving team (paver operator and roller driver) and it is remarkable that the observed decrease in lung function only occurred in this group. The screedmen's work is, however, known to be physically demanding, and an increased respiration (time volume), inhaling more air pollutants per time unit, may be a possible explanation of the findings.

Smoking is an important factor for developing airways obstruction, and screedmen who smoked had a larger decrease in FEV₁ (146 ml) during the asphalt season of six months than screedmen who did not smoke (51 ml). The annual decrease in a non-exposed non-smoker has been estimated to be 27 ml [24]. Smokers have been shown to have an excess yearly decrease of 10 ml [25]. The excess half annual decline in non-smoking screedmen is most likely related to work exposure. The much accelerated decline in smoking screedmen shows that smoking combined with screedmen's exposure is especially unfortunate. With rapid rates of annual decline in FEV₁, some degree of respiratory impairment could occur within 10 to 15 years.

The decline of 90 ml in FEV₁ in the group of screedmen during the asphalt season was one-third of the decrease found in a study of tunnel workers (270 ml) after two weeks of exposure to nitrogen dioxide and dust from blasting [14]. In the tunnel workers the lung function values had returned to the baseline levels for FVC, FEV₁ and FEF_{25-75%} after 10 days off work. This may also be the situation in screedmen. Asphalt pavers from this company usually change work tasks to do snow removal during the winter season, and have very little harmful exposure. The fact, however, that we found reduced lung function in asphalt pavers compared to machine operators at the start of the asphalt season may mean that repeated exposures in asphalt paving may go from temporary lung function changes to chronic changes.

Interleukin-6 is a pro-inflammatory mediator produced locally in the lung, but it may also be produced in muscle and increase during exercise [26, 27].

The observed relationship between exposure in asphalt work and airways dysfunction may have been biased by several factors. Individuals who choose to enter dusty professions have better lung function than those who do not (primary health selection). To avoid a healthy worker selection bias, we chose a reference group (machine operators) that was comparable to the study group with respect to education, socio-economic status and selection for employment. Thus, if primary health selection had occurred, it would have occurred both in the study and reference groups. Therefore, we believe that the observed differences in airflow limitation between the asphalt workers and the machine operators may reflect differences in occupational exposure.

The exposure levels found by personal sampling in the present study highly agree with the estimates made in previous studies of asphalt workers [5, 25]. Oil mist, however, that may be a major problem in asphalt paving, has hardly been measured or mentioned in previous studies. In the present study, exposure to oil mist was only measured in the pavers. Oil mist values, however, were strongly correlated to exposure to total PAHs, which were significantly higher among the pavers than in the control group. More should be done to reduce exposure in asphalt paving. Possible technological solutions to reduce exposure are dependent on more exact knowledge of which agent(s) cause the lung function decline. From the present study our suspicion is on oil mist and we are planning to measure oil mist in different situations of asphalt paving during the coming asphalt season. We also want to investigate the workers' exposure to ultrafine particles. Epidemiological studies have shown a strong association between ultrafine particles in air pollution and adverse pulmonary and cardiovascular health effects. [28]. Ultrafine particles have also been reported to induce an increase in inflammatory mediators, among them interleukin-6, in alveolar macrophage-epithelial cell cultures [29]. In conclusion, exposure in asphalt paving enhances the risk of lung function decline. This finding suggests that technological solutions to reduce exposure are necessary.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the workers of Mesta as for participating in the study. We thank Head of department Finn Levy for helpful comments, and Theresa Mai and Trude Aspelin for technical assistance.

FUNDING

The project received financial support from the Research Fund of Statoil, Norway.

References

1. Leonardi GS, Houthuijs D, Steerenberg PA, Fletcher T, Armstrong B, Antova T, et al. Immune biomarkers in relation to exposure to particulate matter: a cross-sectional survey in 17 cities of Central Europe. *Inhal Toxicol.* 2000;12 Suppl 4:1-14.
2. Peters A, Frolich M, Doring A, Immervoll T, Wichmann HE, Hutchinson WL, et al. Particulate air pollution is associated with an acute phase response in men; results from the MONICA-Augsburg study. *Eur Heart J* 2001;22:1198-204
3. Frampton MW, Boscia J, Roberts JR Jr, Azadniv M, Torres A, Cox C, et al. Nitrogen dioxide exposure: effects on airways and blood cells. *Am J Physiol Mol Physiol* 282:L155-L165.
4. Van Eeden SF, Yeung A, Quinlan K, Hogg JC. Systemic response to ambient particulate matter: relevance to chronic obstructive pulmonary disease. *Proc Am Thoracic Soc* 2005;2:61-7.
5. Burstyn I, Randem B, Lien JE, Langård S, Kromhout H. Bitumen, polycyclic aromatic hydrocarbons and vehicle exhaust: Exposure levels and controls among Norwegian asphalt workers. *Ann Occup Hyg* 2002;46:79-87.
6. Hansen ES. Mortality of mastic asphalt workers. *Scand J Work Environ Health* 1991;17:20-4.
7. Boffetta P, Burstyn I., Partanen T, Kromhout H, Svane O, Langård S, et al. IARC epidemiological study of cancer mortality among European asphalt workers. Final report. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France; 2001.

8. Norseth T, Waage J, Dale I. Acute effects and exposure to organic compounds in road maintenance workers exposed to asphalt. *American Journal of Industrial Medicine* 1991;20:737-44.
9. Kim JY, Chen JC, Boyce PD, Christiani DC. Exposure to welding fumes is associated with acute systemic inflammatory responses. *Occup Environ Med* 2005;62:157-63.
10. Burgess JL, Nanson CJ, Bolstad-Johnson DM, Gerkin R, Hysong TA, Lantz RC, et al. Adverse respiratory effects following overhaul in firefighters. *J Occup Environ Med* 2001;43:467-73.
11. Burgess JL, Fierro MA, Lantz RC, Hysong TA, Fleming JE, Gerkin R, et al. Longitudinal Decline in Lung Function: Evaluation of Interleukin-10 Genetic Polymorphism in Firefighters. *J Occup Environ Med* 2004;45:1013-22.
12. Backe E, Lotz G, Tittelbach U, Plitzo S, Gierke E, Schneider WD. Immunological biomarkers in salt miners exposed to salt dust diesel exhaust and nitrogen oxides. *Int Arch Occup Environ Health* 2004;77:319-27.
13. Ulvestad B, Lund MB, Bakke B, Djupesland PG, Kongerud J, Boe J. Gas and dust exposure in underground construction is associated with signs of airway inflammation. *Eur Respir J* 2001;17:416-21.
14. Bakke B, Ulvestad B, Stewart P, Lund MB, Eduard W. Effects of blasting fumes on exposure and short-term lung function changes in tunnel construction workers. *Scand J Work Environ Health* 2001;27:250-7.
15. Hilt B, Quenild T, Holme J, Svendsen K, Ulvestad B. Increase in interleukin-6 and fibrinogen after exposure to dust in tunnel construction workers. *Occup Environ Med* 2002;59:9-12.
16. Randem BG, Ulvestad B, Burstyn I, Kongerud J. Respiratory symptoms and airflow limitation in asphalt workers. *Occup Environ Med* 2004;61:367-369.

17. Frolich M, Sund M, Lowel H, Imhof A, Hoffmeister A, Koenig W. Independent association of various smoking characteristics with markers of systemic inflammation in men. Results from a representative sample of the general population (MONICA Augsburg survey 1994/95). *Eur Heart J* 2003;24:1365-72.
18. American Thoracic Society. Standardization of spirometry-1987 update. *Am Rev Respir Dis* 1987;136:1285-98.
19. Quanjar PH, Tammeling GJ, Cotes JE. Standardized lung function testing. *Eur Respir J* 1993;10:1683-93.
20. Clauss A. Gerinnungsphysiologische schnellmethode zur bestimmung des fibrinogens. *Acta Haematol* 1957;17:237-46.
21. Burchfiel CM, Marcus EB, Sharp DS, Enright PL, Rodrigues BL, Masaki KH, et al. Characteristics associated with rapid declines in forced expiratory volumes. *Ann Epidemiol.* 1996;6:217-27.
22. Tockman MS, Pearson JD, Fleg JL, Metter JL, Kao SY, Rampal KG, et al. Rapid decline in FEV1. A new risk factor for coronary heart disease mortality. *Am J Resp Crit Care* 1995;151:390-98.
23. Robertson AS, Weir DC, Sherwood Burge P. Occupational asthma due to oil mists. *Thorax* 1988;43:200-5.
24. Burrows B, Lebowitz MD, Camili AE, Knudson RJ. Longitudinal changes in forced expiratory volume in one second in adults. Methodologic considerations and findings in healthy nonsmokers. *Am Rev Respir Dis* 1986;133:974-80.
25. Marine WM, Gurr D, Jacobsen M. Clinically important respiratory effects of dust exposure and smoking in British coalminers. *Am Rev Respir Dis* 1988;137:106-12.

26. Burstyn I, Kromhout H, Kauppinen T, Heikkilä P, Boffetta P. Statistical modelling of determinants of historical exposure to bitumen and polycyclic aromatic hydrocarbons among paving workers. *Annals of Occupational Hygiene* 2000;44:43-56.
26. Steensberg A, van Hall G, Osada T, et al. Production of interleukin-6 in contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. *J Physiol* 2000;529:237–42.
27. Pedersen BK. Exercise and cytokines. *Immunol Cell Biol* 2000;78:532–5.
28. Atkinson RW, Bremner SA, Anderson HR, Strachan DP, Bland JM, deLeon AP. Short-term associations between emergency hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease and outdoor air pollution in London. *Arch Environ Health* 1999;54:398-411.
29. Ishii H, Hayashi S, Hogg JC, Fujii T, Goto Y, Sakamoto N, et al. Alveolar macrophage-epithelial cell interaction following exposure to atmospheric particles induces the release of mediators involved in monocyte mobilization and recruitment. *Respiratory Research* 2005;6:87.

Table 1. Characteristics of the study population stratified by job category. (AM = arithmetic mean, SD = standard deviation, N = number, BMI = body mass index)

Job Group	Age		Height		BMI		Current smoking		Pack years		Allergy	
	(years)		(cm)									
	AM	SD	AM	SD	AM	SD	N	%	AM	SD	N	%
Asphalt workers (N=140)	44.6	9.2	179	6.0	27.2	3.6	35	25	10.9	12.0	34	23
Machine operators (N=126)	46.0	9.5	179	6.2	26.6	3.4	29	23	9.9	11.9	34	24

Table 2. Personal exposure levels of each job category by agent (M=number of measurements, AM=arithmetic mean, GM=geometric mean, GSD=geometric standard deviation, NM=not measured)

Job task	Total dust (mg/m ³)				Total PAH (microg/ m ³)				Oil mist (mg/m ³)			
	M	AM	GM	GSD	M	AM	GM	GSD	M	AM	GM	GSD
Lorry driver	10	0.2	0.1	2.4	6	0.2	0.3	1.4	NM			
Paver operator	16	0.4	0.3	1.9	12	2.1	1.8 ^b	1.9	7	0.44	0.23	3.4
Screedman	32	0.5	0.3	2.5	29	2.1	1.6 ^b	2.2	9	0.13	0.09	2.3
Roller driver	8	0.6	0.4	2.7	7	2.6	1.3 ^b	4.3	NM			
Asphalt stripper	9	2.6	2.4 ^a	1.5	9	0.6	0.5	1.8	4	0.26	0.19	2.6
Plant operator or laborer	9	1.0	0.9	1.8	12	0.5	0.5	1.7	NM			

^a Asphalt strippers versus other workers, Mann-Whitney test, p<0.001, see text for details

^b Paver operators, screedmen and roller drivers versus other workers, Mann-Whitney test, p<0.001, see text for details

Table 3. Mean (SE) lung function in 140 asphalt workers compared with 126 machine drivers. (SE = standard error of the mean)

	Asphalt workers	Machine drivers
	N = 140	N = 126
FVC (% of predicted)	97.4 (1.0)	100.4 (1.1)
FEV ₁ (% of predicted)	92.6 (1.1)*	96.9 (1.2)
FEF ₅₀ (% of predicted)	84.8 (2.6)**	92.9 (3.3)

FVC = forced vital capacity, FEV₁ = forced expiratory volume in one second, FEF₅₀ = forced expired flow from 50% of FVC.

* p = 0.01 and ** p = 0.03 adjusted for pack years and body mass index.

Table 4. IL-6, fibrinogen and micro-CRP of the asphalt workers and control group and changes after the asphalt season.

Job task	IL-6 ng/l						Δ IL-6 ng/l						Fibrinogen						Δ Fibrinogen						micro-CRP						Δ micro-CRP					
	before season						before season						before season						before season						before season						before season					
	AM	GM	GSD	GM	%	GSD	AM	GM	GSD	GM	%	GSD	AM	GM	GSD	GM	%	GSD	AM	GM	GSD	GM	%	GSD	AM	GM	GSD	GM	%	GSD	AM	GM	GSD	GM	%	GSD
Asphalt pavers	2.07	1.55	2.0	1.12 ^a	71	1.75	3.33	3.29	1.2	-0.04	-1.2	0.4	1.38	0.90	2.5	0.12	13	2.1																		
Control group	2.45	1.76	2.1	-0.89	-45	1.91	3.39	3.32	1.2	-0.06	-1.8	0.6	1.85	1.32	2.4	-0.29	-22	0.9																		

^a ANOVA, p=0.04 adjusted for daily smoking during the season

Table 5. Lung function of the asphalt workers in each job task category and the lung function changes after the asphalt season. (FVC = forced vital capacity, Δ = change, FEV₁ = forced expiratory volume in one second, FEF₅₀ = forced expired flow from 50% of FVC)

Job task	FVC (L)		Δ FVC (L)			FEV ₁ (L)		Δ FEV ₁ (L)			FEF ₅₀ (L/s)		Δ FEF ₅₀ (L/s)		
	before season					before season					before season				
	AM	SD	AM	%	SD	AM	SD	AM	%	SD	AM	SD	AM	%	SD
Lorry driver (N=18)	4.5	0.8	0.10	2.2	0.3	3.5	0.6	0.04	1.1	0.2	4.2	1.5	-0.11	-2.6	1.2
Paver operator (N=16)	4.9	0.5	-0.05	-1.0	0.3	3.9	0.5	-0.04	-1.0	0.2	4.9	1.9	-0.13	-2.7	0.7
Screedman (N=42)	4.8	0.8	0.13 ^a	2.7	0.4	3.7	0.6	0.09 ^{ab}	2.4	0.3	4.6	1.5	0.34	7.4	1.3
Roller driver (N=12)	4.3	0.7	-0.05	-1.2	0.3	3.4	0.4	0.04	1.2	0.1	4.4	1.4	0.28	6.3	0.6
Asphalt stripper (N=6)	4.9	1.4	-0.21	-4.2	0.3	3.9	1.5	0.04	1.0	0.2	4.9	2.7	0.87	17.8	1.1
Plant operator or laborer (N=30)	4.6	0.8	0.01	0.2	0.3	3.5	0.6	0.02	0.6	0.2	4.2	1.6	0.21	5.0	0.8

^a Paired sample t-test, p<0.05

^b ANOVA, p<0.05, means between screedmen and all other asphalt workers adjusted for smoking

NVF-stipendiat 2006

Så lyckas man med beställardriven utveckling

Praktikfall:

Implementering av "Flödesblandad asfalt"

Av: Mats Wendel, Vägverket
[Sverige]

Inledning

Att som beställare få entreprenörer att göra som man vill är inte alltid så lätt. Beställardriven utveckling är inte alldeles lätt. En god grund för att lyckas är att entreprenören behåller intresset för att göra rätt. Jag kommer att gå igenom tillvägagångssättet för att implementera en ny tillverkningsmetod för asfalttillverkning i Sverige – flödesbladningsmetoden (KGB-III). Metoden är patenterad och har tagits fram av uppfinnare Gunnar Ohlson i Finja. Inriktningen för det här arbetet är främst gränssnittet anläggningsentreprenader, även om det förmodligen är tillämpligt i andra branscher.

Att som uppfinnare få gehör för sina idéer är svårt. Ofta är uppfinnarna inte särskilt duktiga på att marknadsföra sina idéer och att omsätta dessa idéer i praktisk tillämpning är inte heller lätt. Likaså har entreprenörer och leverantörer också svårt att få nya idéer, såsom produkter och metoder, att komma till användning. För att en idé ska få fäste och komma till användning så krävs ofta en lång verifieringstid och anpassningar till "verkligheten". Beställaren har svårt att värdera och köpa något som kan anses oprövat, även om goda garantier utlovas.

Om däremot beställaren har en idé som ska användas, kan man använda två sätt att få igenom det man vill:

- 1) Föreskriv och "tvinga" fram användandet.
- 2) Uppmuntra användning och följ fortsättningen av det här dokumentet.

Nackdelen med punkten 1 ovan är att engagemanget hos entreprenören är lågt och viljan att göra rätt minimal (om man inte ser annan egen vinning förstås).

Så här lyckas man

För att lyckas få en förändring till stånd krävs ett långt och uthålligt arbete. Det finns egentligen inga genvägar. Genom att göra fel och lära av misstagen skapar man grunden för god utveckling. Att inte göra om samma fel visar på effektivitet. Att vara öppen och låta andra ta del av erfarenheter är lika viktigt som tekniska landvinningar. Att sedan våga och våga igen är också grundläggande, men kom ihåg att värdera riskerna. All utveckling innebär risker och att ha en modell för riskfördelning är nödvändig. Om man som beställare inte vill ta några risker innebär det också i praktiken att inte heller entreprenören vill det och då får man heller ingen fart på utvecklingen.

Våga och lär av misstagen

När det gäller att implementera ny teknik så måste man våga (gäller både beställare och entreprenör). Man behöver också en plan för att följa upp och lära av misstagen. Det gäller att gå "lagom" fort fram. Ett litet misslyckande ska leda framåt, medan ett större kan äventyra hela utvecklingen. Man ska inte ta större steg än man klarar av. Det är dock viktigt att komma ihåg vikten av att hela tiden gå i lagom takt.

Gör fel! Men glöm inte att lära av dessa och att inte upprepa fel. Konsten att gå framåt ligger i att inte upprepa felen.

Våga igen... Hållbar utveckling bedrivs inte över en natt, utan det är viktigt att komma ihåg att vara uthållig.

Några ord om patent och risker

För att skydda sin idé, produkt eller metod, tas ofta patent. Patentet skyddas enligt lag och ingen annan än patentinnehavaren får i ett första läge utnyttja patentet. Sedan kan den som innehar patentet sälja hela eller delar av patentet. Det finns också en möjlighet att sälja licenser för användning av patentet. Patentet skapar dock automatiskt problem, t ex konkurrensbegränsning. Nedan följer några råd om hur man bör hantera patent och förslag på tillvägagångssätt för lyckad utveckling:

1) Undvik att ta patent!

Sälj i stället kunskap/produkt etc. och utnyttja konkurrensfördelen av att vara först, det är oftast mycket mer framgångsrikt. Patent är hämmande och begränsar marknaden. Få beställare är villiga att betala för något som de inte kan bedöma prislappen på.

2) Om patent finns – gör det tillgängligt för alla.

Om flera kan använda patentet så ökar möjligheten att det blir en marknad. Licensrätter kan vara rätt sätt. Som beställare ska man kräva att alla har möjlighet att köpa licensrätter (ingen konkurrensbegränsning ska finnas).

3) Låt entreprenören betala för patentavgifter

Beställaren ska se upp för intressekonflikter, då är det bättre att entreprenören betalar patentinnehavaren. Ersätt för patent/licensavgifter via avtal med entreprenör. Det gäller att skapa förtroende för att patentet fungerar. När patentet fungerar som vedertagen metod kan det åberopas i upphandlingen och vara konkurrensutsatt. Det är då upp till entreprenören att ta betalt för det.

4) Stimulansbidrag

Entreprenören vill se vinning för arbetet som han gör och anstränger sig mer om det finns morötter. Utveckling kostar pengar och det finns många "dolda" utgifter. Ersätt initialt för dessa. Begränsa omfattningen, men låt ersättningen vara tillräckligt stor för att det ska vara intressant att använda patent/metod.

5) Minimera och hantera risker

Låt inte entreprenören ta risker som han inte kan rå över. Exempel på riskminimering som beställaren kan göra är kortare garanti, dela på åtgärd vid misslyckande etc.

Praktikfallet "Flödesblandad asfalt"

Mitt arbete ligger i att göra det möjligt att använda flödesblandningsmetoden (KGO-III) i praktiken och har sett till att samtliga större asfaltentreprenörer i Sverige (6 st) har provat på att använda den. På senare tid har jag även infört krav på att metoden ska användas på utsedda underhållsobjekt.

Metoden har flera fördelar, kanske framförallt bättre kvalitet. Men det som är mest slående är att asfalten måste tillverkas vid lägre temperatur och med mindre mängd bitumen än vid normal tillverkning. Om man tittar på vilka problem som asfaltproduktionen i stort har, så är bl. a. separationsproblematiken framträdande. Likaså framhålls bitumen som en ändlig resurs och utvecklingen mot att använda mer retur-asfalt*.

När jag kom i kontakt med metoden 1998 var det många "asfaltkännare" som trott på idén, men inte sett några effekter. Det fanns uppenbara "förtroendeproblem" för uppfinnarens idé och metoden fungerade bara "i teorin", dessutom hade uppfinnaren

* Återvunnen gammal asfalt (krossad eller fräst)
Så lyckas man med beställardriven utveckling
Mats Wendel, 2006

svårt att förklara. Uppfinnaren har kämpat sedan 1970-talet med sin uppfinning utan att få genomslag. Vidare fanns problem i att beställaren "reglerade bort" eventuell vinst med att bitumenanvändningen minskade. Självt så arbetade jag då på Vägverket Produktion med asfaltutveckling och vi sökte efter metoder/produkter som kunde ge bättre beläggningar.

I laboratorietillverkning åstadkom vi ingen märkbar skillnad samtidigt som det var svårt att följa metoden. I det asfaltverk som byggdes om så märktes en avsevärd förändring. Produktion utfördes på väg med tre massatyper: AG, ABT och ABS. Försöken visade på häpnadsveckande resultat.



Bild 1 och 2: Okulära effekter. Till vänster ses AG22 160/220 4.2% och höger samma massasort med KGO-III metoden. Handen på bilden under har stenar från väggkant plockats från respektive massa. Det syns tydligt att KGO-tillverkad massa har mer "bruk" på stenarna.

Slitlagret med ABT16 fick fräsas (mkt blank/fet yta) och även ABS-beläggningen var mkt fet och fick hålrum <1%. Eftersom resultaten var övertygande att metoden gjorde stor skillnad, påbörjades ytterligare studier. Serier med olika bitumenhalter och sammansättningar tillverkades i asfaltverket för att undersökas på lab. Dessa ledde senare fram till en anvisning för metoden med bl. a. ändrade krav på sammansättningar.

Metoden i korthet

Att tillverka enligt metoden går till så att man i asfaltverket ser till att få en kontrollerad och ordnad blandningsföljd. Först tillsätts grovfraktionen, sedan bitumen och filler på så sätt att de bildar en suspension (fillerpartiklarna jämnt fördelade i bitumenet). Sist tillsätts finfraktionen som blandas in under kort tid.

Anpassningar av recept och tillverkningstemperatur måste göras för att tillverkningen ska fungera bra.

Provsträckor och uppföljning

För att kunna bevisa metodens fördelar så utfördes ett antal provsträckor. Dessa har noga följts upp och resultat finns redovisade i bl. a. VTI-notat nr 19-2004[†]. En viktig del av utvecklingen var att göra metoden tillgänglig för samtliga entreprenörer. Eftersom metoden är skyddad av patent så gjordes en överenskommelse upp att metoden skulle vara tillgänglig mot en rörlig ersättning om maximalt 5 kr/ton. Annars sågs inte anledning att lägga ned tid, energi och pengar på praktisk tillämpning.

Genom att i upphandlingsdokument lämna ut stimulansbidrag om 25 kr/ton till de entreprenörer som ville prova metoden så skapades ett gott utvecklingsklimat. Bidraget maximerades till 15 000 ton och skulle täcka merkostnader för ombyggnation, receptframtagande, interna utbildningar, licens mm. En förutsättning för att få bidraget var att den anvisning som fanns framtagen användes. Anvisningen säkerställde att metoden användes korrekt. Anvisningen innehöll krav och även vissa rekommendationer. För initiala objekt som utfördes enligt anvisningen så förkortades garantitiden till 2 år istället för 5 år.



Implementering – volym ger erfarenhet

Efter det att provsträckor utförts och dessa visat på förtroendeingivande resultat så var det viktigt att fortsätta att intressera flera för metoden. Att vara långsiktig och ge samtliga möjlighet till stimulansbidraget sågs som viktigt. Var låg begränsningarna för metoden? Fungerar den på samtliga massatyper? Eller bara på vissa? Genom att inte begränsa möjligheterna så provades ett flertal av de asfaltsorter som används.

När tillräckligt många[‡] entreprenörer har byggt om sina asfaltverk i ett område, kan man som beställare välja att upphandla med metoden som krav. Vidare fanns funderingarna om det var möjligt att använda metoden även med polymerbitumen. Under 2004 upphandlades ett större objekt med polymerbitumen där metoden var ett krav. Även det objektet gick bra att utföra.

Asfaltsort	Max stenstorlek, mm	Bindemedel
AG	16 22	160/220 70/100
ABb	11 16 22	70/100 50/70 PMB 50/100-75
ABT	16	160/220 70/100
AB	11	160/220 70/100
ABS	8 11 16	70/100 50/70 PMB 50/100-75
TSK	11	70/100

Tabell 1: Hittills tillverkade asfaltsorter.

[†] Rapporten finns att läsa gratis på www.vti.se. Under 2006 kommer dessutom ett nytt att ges ut.

[‡] Minst tre st entreprenörer inom en radie av t.ex. 10 mil, för tillräcklig konkurrens.

Eftersom det kan vara svårt att komma ned i temperatur vid tillverkningen så kan returasfalt med fördel användas. Man bör dock alltid kontrollera returasfaltens kvalitet och om returasfalten tillsätts kalldoserad så ska blandningstiden förlängas något. Det är också viktigt att alltid tillsätta någon form av vidhäftningsmedel och att använda ett bra bitumen för att säkerställa att kvaliteten blir god.

När metoden fått fotfäste ordentligt och vunnit tillräckligt förtroende (långtidseffekter) så kommer entreprenörerna automatiskt att välja denna vid tex. funktionsupphandlingar eller som alternativa utföranden[§].

Några intressanta resultat

Effekterna av metoden har undersökts omfattande. De flesta undersökningarna har visat på positiva resultat. Exempel där det fungerat sämre är Dynamisk kryptest som i det här fallet har fungerat dåligt (verkar som om sidostödet inte är tillräckligt), Wheeltrack fungerar dock bättre. Massorna har inte visat några som helst tendenser till att vara deformationsbenägna. Några av de viktigaste undersökningarna visas nedan. Eftersom metoden hittills använts mest på slitlager så är det beständighet och nötning som är mest intressant, samtidigt som spårbildning från vägarna kanske är mest intressanta. Resultaten kommer från utredningar som VTI gjort. Provsträckorna är belägna i Mälardalen och kommer från tre vägar där tre olika entreprenörer utfört dessa.

Vinterkonditionering

Vinterkonditionering är en del av beständighetsmåttet. Borrprover från väg undersöks avseende styvhetsmodulen. Samma prover utsätts sedan för konditioneringscykler med bl. a. saltlakelösning och frys-tö växlingar och undersöks igen. Resultatet är skillnaden mellan initial styvhet och konditionerad (Q-vinter). Testet anses vara tufft och beläggningar med dålig beständighet har tidigare visat stort utslag här. Hållrummet som redovisas avser medelvärde på 5 prover 2002.

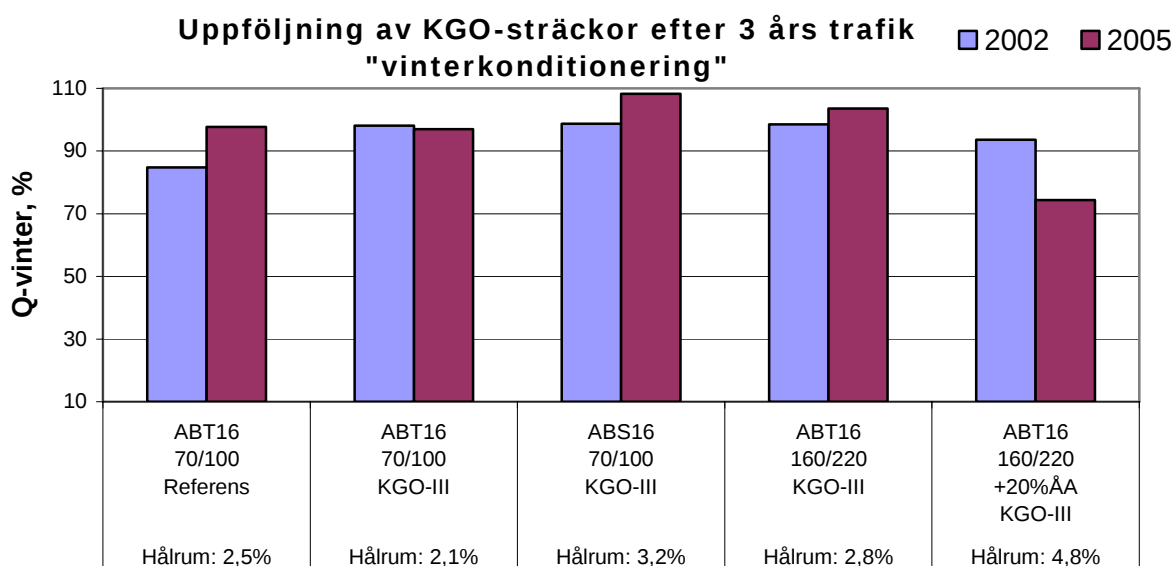


Diagram 1: Mycket bra resultat med tanke på att bindemedelshalten är så låg. Beständighetsproblem borde ha visat sig med den här metoden. Serien med återvinning verkar ha klarat sig sämre än övriga. Värden över 70% anses vara bra.

[§] Alternativa utföranden = sidoanbud

Prall

Prall är en metod för att mäta nötningsslitage. Den beskriver också ett beständighetsmått eftersom stenlossning kan förekomma. Stenmaterialets kvalitet är kulkvarnsvärde <6 för samtliga serier utom sista serien som har kulkvarnsvärde <9.

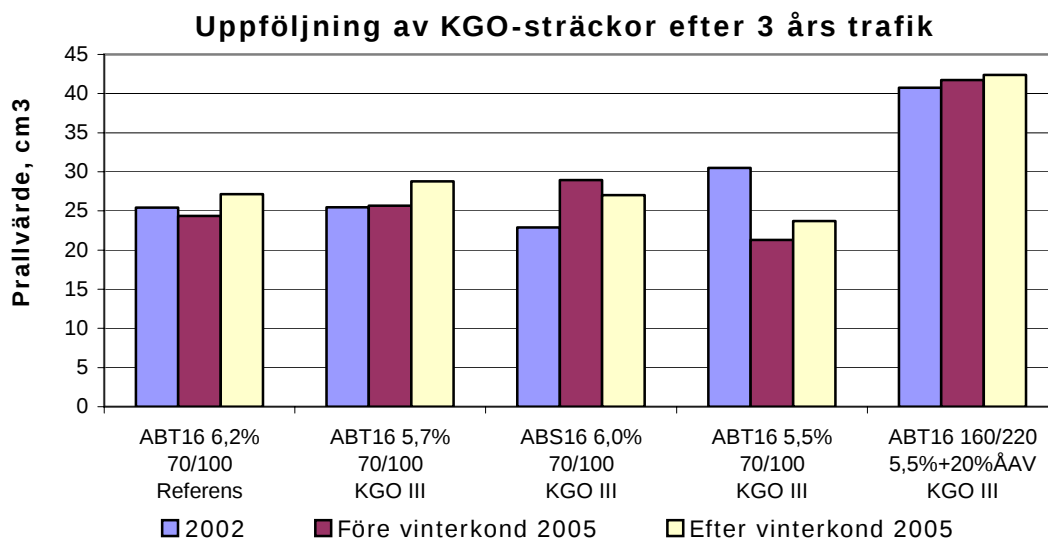


Diagram 2: Intressanta resultat. Man ser inga stora förändringar på initiala värden. Att få en försämring efter konditionering är förväntat.

Spårutveckling

Vägarna har även följts upp med vägytemätningar. Dessa redovisas i korthet nedan. Notera att trafikmängderna skiljer sig kraftigt åt. Alla vägar utom sista har utförts hösten 2002, den utfördes sommaren 2003.

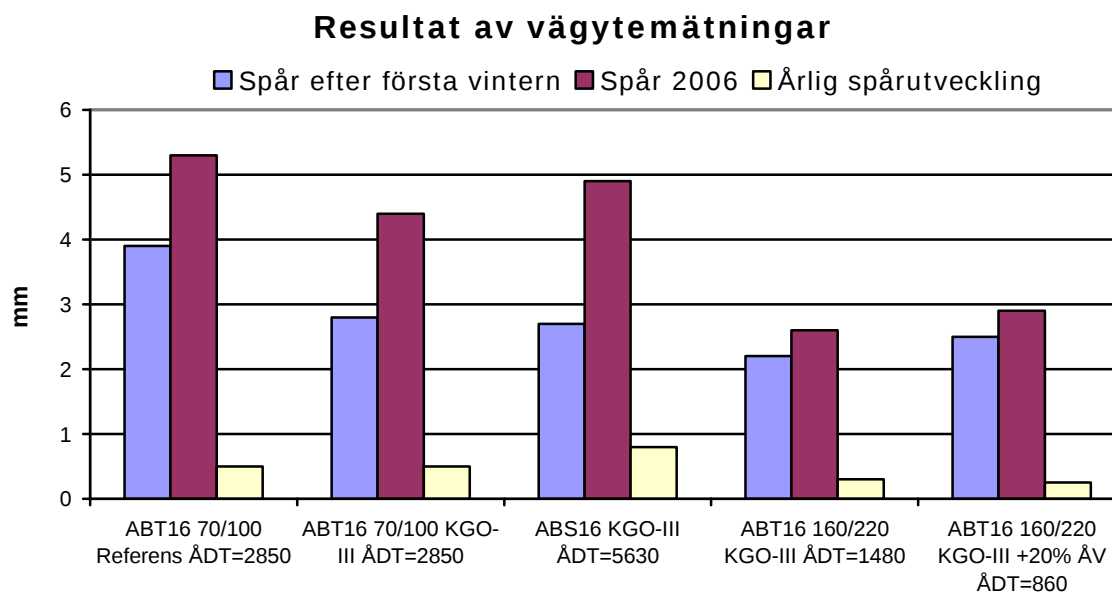


Diagram 3: Resultat från vägytemätning med laserbil. Metoden verkar ge normal spårutveckling, kanske till och med lägre. Sträckan längst till höger är den med minst trafikmängd men också den med högst Prall-värde.

Miljöeffekter

Bitumen är en ändlig resurs (det tyngsta destillatet i råoljan) och med den här metoden så sänker vi användningen med ca 8% (motsvarar ca 0,5% lägre bitumenhalt). Tillverkningen sker vid lägre temperatur, vilket innebär att det inte går åt lika mycket eldningsolja vid asfaltverket för att värma upp stenmaterialet. Enklare uppföljning har visat en besparing på mellan 1-2 liter mindre eldningsolja per ton asfalt. Kanske inte låter så mycket, men applicera det på hittills tillverkade över 300 000 ton asfalt!

Minskad mängd bitumen hittills: ~1500 ton
Minskad mängd eldningsolja: >300.000 ton

Med minskad tillverkningstemperatur så följer också minskad rökutveckling vilket innebär att bitumenet behåller sina ursprungliga egenskaper och borde göra att beläggningen håller längre (indikator). Bindemedlets förhårdning** minskar. Dessutom så förbättras arbetsmiljön med lägre temperaturer.

Beläggningar tillverkade med metoden har inte sämre friktion eller bulleregenskaper. Tvärtom har små effekter i bullerreducering konstaterats.

Hittills har inga negativa miljöeffekter konstaterats!

Mindre bitumen + Lägre temperatur = bättre kvalitet och bättre för miljön!

Sammanfattning

För att lyckas med beställardriven utveckling krävs ett engagemang hos beställaren, utvecklingsintresserade entreprenörer och ett starkt incitament varför utvecklingen bedrivs. Det gäller att vara långsiktig och uthållig och att våga göra fel. Att lära av sina misstag leder utvecklingen framåt. Framförallt gäller det att dela med sig av sina erfarenheter, såväl goda som dåliga. Att ha en modell för riskhantering är också viktigt. Om det finns patent är det viktigt att det görs tillgängligt för alla, eftersom patent är konkurrenshämmande.

I praktikkallet flödesblandad asfalt exemplifieras dessa teorier om hur man kan lyckas med beställardriven utveckling. Tillvägagångssättet för implementeringen av blandningsmetoden beskrivs och även resultat från utförda provvägar redovisas. Metoden har använts på ett stort antal massasorter med olika bitumen. I de redovisade resultaten har vikten lagts vid att bevisa god beständighet hos provvägarna. Detta eftersom en lägre bitumenhalt kan äventyra beständigheten. Provvägarna har undersökts efter utförandet och sedan igen efter 3 år. Samma analyser har upprepats och kompletterats med vägytemätningar med laserbil. Av resultaten ser man inget onormalt som tyder på att vägarna kommer att haverera. Tvärtom så visar de positiva resultat, och spårdjupsutvecklingen på provvägarna är låg.

Flödesblandad asfalt har många fördelar, både i kvalitet och i miljö. Bland miljöfördelarna är det främst minskad bitumenanvändning och lägre temperatur som kommer fram. Beläggningar tillverkade med metoden har inte sämre friktion eller bulleregenskaper. Tvärtom har små effekter i bullerreducering konstaterats.

** initial åldring

Nya avisningsmedel och asfaltbeläggningar

Ville Alatypö
Tekniska Högskolan, Väglaboratoriet
Finland

NVF 33 FoU

Uppsala 19.6.2006



Skadad asfalt i experimentfält i Rovaniemi 2005

JÄPÄ – Undersökning av avisningsmedel i Finland

1 Inledning

I Finland används acetater och formiater för halkbekämpning på flygplatser. Förr användes urea, men urea eutrofierar. Praktisk erfarenhet visar att acetater och formiater fungerar bra; på is är smälteffekten mycket bättre än med urea. Ur miljöhänsyn anses dessa nya avisningskemikalier vara bättre än urea och vägsalt. Acetater och formiater har också prövats på vägar.

Under de senaste åren har en del problem iakttagits i samband med användningen av både acetater och formiater. En ökad nedsmutsning av flygplanen och elektrisk apparatur har iakttagits. Dessutom har viss typ av skador upptäckts i asfaltbeläggningarna. Ökad blödning och försämrade hållfasthet i bärlager har rapporterats på flygplatsbeläggningar både i Finland och i övriga länder.

Under sommaren 2001 observerades riklig blödning på flygplatserna i Uleåborg och Rovaniemi. Beläggningarna var utförda året före. Liknande skador på beläggningar har också observerats i Gardemoen, Bergen, Arlanda och Sundsvall. Problemet föreföll vara att bindemedlet blev/var mjukt och började smutsa apparatur, flygplan och vägmarkeringar också under den kalla perioden. De nya miljövänliga avisningskemikalierna (acetater och formiater) misstänktes vara en bidragande orsak till skador i beläggningar på vissa startbanor.

På grund av dessa misstankar startades ett större forskningsprojekt i Finland. Tekniska Högskolans väglaboratorium fick ansvaret att utreda hur avisningsmedel påverkar asfaltbeläggningen och dess beständighet. Projektet började 11.3.2003 och slutade 31.12.2005. Tekniska Högskolans väglaboratorium svarade för samordning och implementering av projektet. Tekniska Högskolans laboratorier för organisk kemi och för polymerteknologi deltog i projektet. Företagen Finavia (det finska luftfartsverket), Nynas och Nordic Envicon samt geologiska forskningsinstitutet utförde också delprojekt inom forskningsprojektet. Finansiärer var Teknologiska utvecklingscentralen (Tekes), Finavia, Vägförvaltningen samt nästan alla entreprenadföretag och flera råvaruleverantörer i asfaltbranschen.

Projektets utgångspunkt var att undersöka hur olika potentiella orsaker påverkar asfalten eller dess komponenter. Genom att undersöka olika skadescenarier, skulle projektet förklara skademekanismen. Forskningen fördelades på skilda delprojekt. I det första delprojektet undersöktes avisningskemikaliernas inverkan på bitumen. Speciellt undersöktes adhesionen mellan bitumen och stenmaterial. I det andra delprojektet av forskningen undersöktes samverkan mellan olika material (bitumen-stenmaterial-avisningsmedel). Avisningsmedlens förorsakande av eventuella kemiska reaktioner och deras inverkan på bindemedlets fysikalisk-kemiska egenskaper undersöktes. Skadeinventering på flygplatsbeläggningarna i Uleåborg och Rovaniemi utgjorde en del av detta forskningsprojekt. Här misstänktes också kvalitetsproblem hos både asfalten, råvara och på utförandet. Genom provfältsförsök på flygplatserna i Rovaniemi och Kuusamo försökte man också få reda på eventuella skademekanismer.

Cirka 30 olika laboratoriemetoder användes för att utreda skademekanismerna. Den här sammanfattningen av forskningsprojektet behandlar enbart resultaten av de tester, som anses ge en bild av de skademekanismer, som eventuellt visar hur avisningsmedel påverkar asfaltbeläggningen.

2 Undersökningar i laboratorium

2.1 Undersökningar av bitumen

I den första delen av projektet undersökte man hur avisningsmedel påverkar asfaltbeläggningsens bindemedel. Laboratoriet för organisk kemi utförde tester, som strävade till att undersöka om avisningskemikalier kemiskt reagerar med bitumen. Olika bindemedel "kokades" i olika avisningsmedel. Efter gaskromatografiska analyser kunde laboratoriet konstatera att bitumen inte hade förändrats. Man kunde ändå se en klar minskning i materialmängd.

I den andra delen undersökte Nynas hur de-icing-kemikalier påverkar bindemedlets fysikalisk-kemiska egenskaper. En observation var att olikheten i densitet mellan avisningsmedel och bitumen gör, att avisningskemikalier, med hög densitet, tränger sig in i bitumen. Kemikalielösningarna har mycket låg ytspänning. Detta gör det väsentligt lättare för kemikalier och vatten att tränga in mellan stenmaterial och bitumen, vilket reducerar vidhäftningen (se tabell 1).

Såväl Nynas som laboratoriet för organisk kemi undersökte om skademekanismen kunde vara någon sorts re-emulgeringsmekanism. Försök gjordes, där olika bindemedel blandades med avisningskemikalier i vätskeform. Huvudsakligt resultat var att ju starkare kemikalielösningen är, desto mindre är tendensen till emulgering. Bitumen emulgerar ej i rent vatten, medan blandningsförsöken tyder på att bitumen och en de-icing-kemikalielösning kan ge upphov till emulgering. I bild 1 visas bilder från emulgeringsprov. Försöken tyder på att en invers emulsion (water in oil) kan uppstå mellan bitumen och avisningskemikalier. Viskositeten hos en sådan invers emulsion (formiat) var klart lägre och adhesionen till stenmaterial var svagare än för normalt bitumen. Blandningen var också ytterst nedsmutsande, vilket kan förklara de praktiska problem, som setts på flygplatserna.

Tabell 1: Gränsytpänning mellan bitumen och avisningskemikalier. (5 och 50 % lösningar). Meltium är kaliumformiat och Safeway KA är kaliumacetat.

Fluid	Interfacial tension, mN/m
Water	22
Meltium, 5 %	6
Meltium, 50 %	5,5
Safeway KA, 5 %	6,5
Safeway KA, 50 %	10

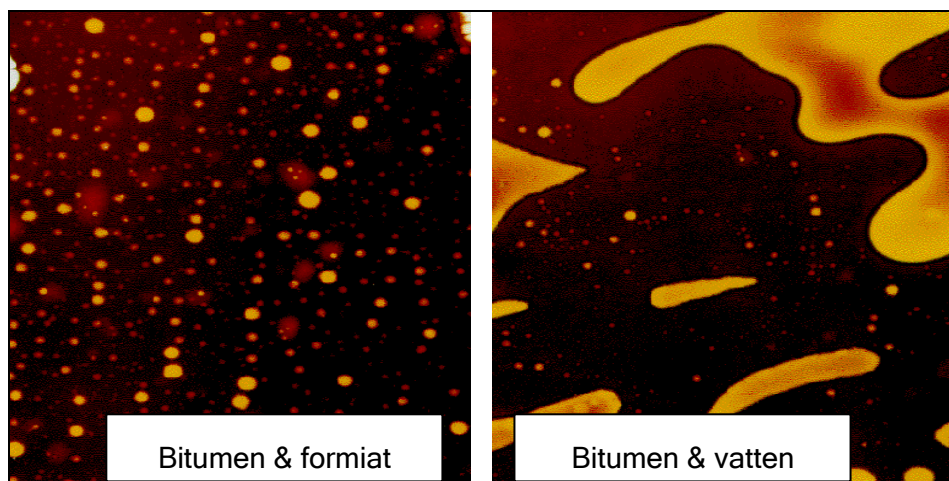


Bild 1: Emulgeringsförsök med formiatlösning, vatten och bitumen.

2.2 Undersökningar av stenmaterial

Den andra delen av forskningsprojektet gällde tester på stenmaterial. Nordic Envicon gjorde tunnslipanalyser, som redogör för mineralogin i stenmaterial. Väglaboratoriet undersökte förvittring av stenmaterial. Huvudresultat är att avisningsmedel och mineralkonsistens påverkar absorption och graden av förvittring. Från resultaten kan man se, att det kan ske neutralisering mellan kemikalier och surt stenmaterial, vilket höjer tendensen för sönderdelning.

Resultaten av stenmaterialtesterna visar att surt stenmaterial förvittrar mer än basiskt stenmaterial, när stenmaterialet utsätts för avisningsmedel. Då provserien var ganska inskränkt kunde inverkan av olika mineral inte bedömas tillräckligt noggrant.

2.3 Bitumen och stenmaterial – undersökning av asfalt

I denna del av projektet undersöktes hur avisningskemikalier inverkar på olika asfaltblandningar. Olika asfaltblandningar utsattes för de-icing kemikalier. I den här delen av undersökningen utreddes hur kemikaliernas densitet påverkar de olika blandningarna. Samma sak som observerades vid bindemedelstesterna kunde också ses i de här testerna: Kemikaliernas höga densitet bidrar till hur bitumen reagerar. Utsatt för kemikalier, börjar bindemedlet att lossna från stenmaterialet och detta gäller i synnerhet för bindemedlets "lätta" fraktioner.

Nynas undersökte asfaltblandningars (bitumen/finfraktion) vattenbeständighet med hjälp av Vändskak-test. Huvudresultatet blev att asfaltprovkropparnas nedbrytning var större när avisningslösningens pH var hög (14). Provkroppar som utsattes för kemikallösningar (5 %) hade samma beständighet som provkroppar som testades i vatten (referens). Också i rullflask-försök observerades liknande resultat (bild 2). Asfaltprovkroppar, som utsattes för kemikalier, var mera kletiga än de asfaltprov, som hade utsatts för vatten.

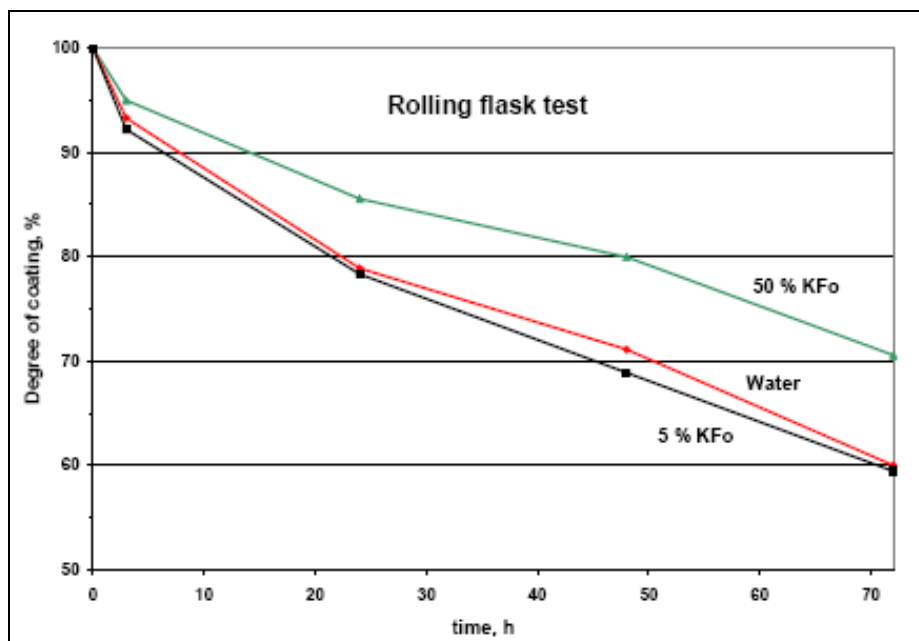


Bild 2: Resultat från rullflask -försök. Det viktigaste resultat är att formiatet har ingen effekt på vidhäftningen mellan stenmaterial och bitumen, när exponering sker i rumtemperatur.

Väglaboratoriet utförde också koktester. Meningen var att utreda om det sker förändringar i asfalten när den uppvärms/kokas i kemikalielösning (bild 3). Efter uppvärmning/kokning uppmättes bindemedelsmängden och man uppskattade bindemedlets vidhäftning till stenmaterialet. Redan en svag kemikalielösning (5 %) hade stor inverkan på bindemedelsmängden, och formiat är mer aggressivt än acetat (bild 4). Ju starkare lösningen är, desto större är förändringen i bindemedelshalten. Tre olika bindemedel undersöktes: B160/220, B70/100 och PMB50/100-75;SBS. Desto mjukare bitumen, desto större är förändringarna i koktesterna..

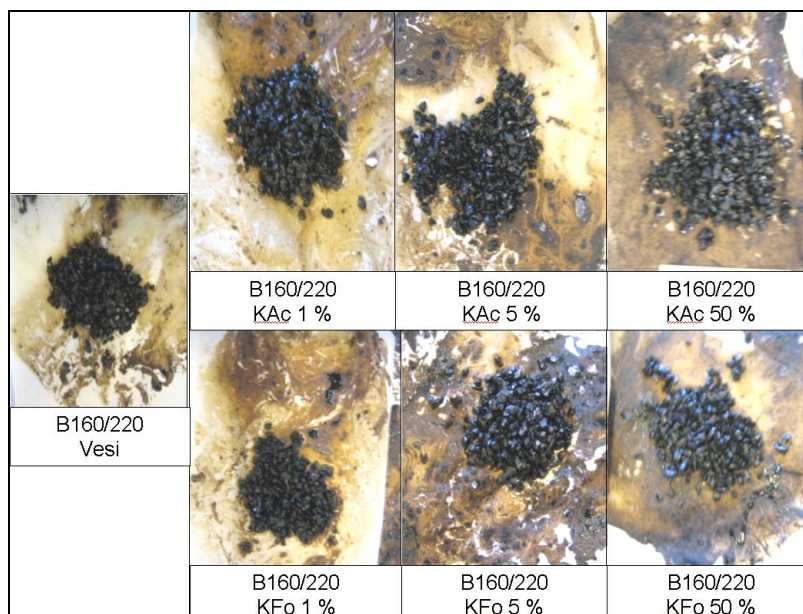


Bild 3: Första versionen av koktest med bitumen B160/220. Redan 1 % avsningsmedel i vatten förorsakar att bindemedelsläpp från stenmaterialet

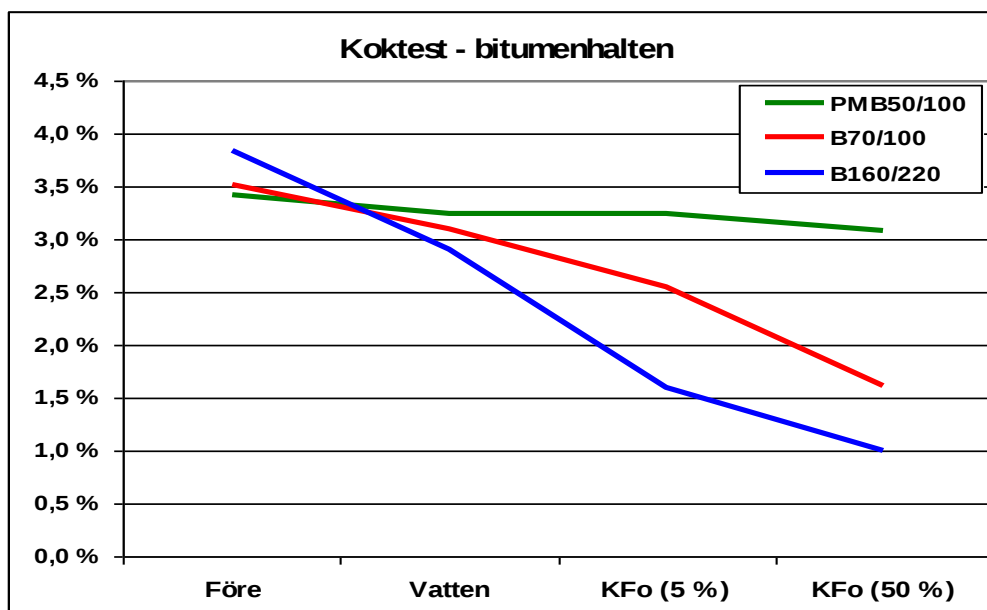


Bild 4: Bitumenhalt (m-%) i koktest. Med bitumen B160/220 minskade bitumenhalten med över 50 % från den ursprungliga bitumenhalten. Saltlösningens större densitet kan delvis förklara resultatet. Med 5 % lösningar förklarar densiteten inte hela resultatet.

Eftersom man i de första koktesterna kunde se väsentliga förändringar, utförde väglaboratoriet en ny testserie i slutna kärl. Testtemperaturer var 40, 70 och 100 °C (upphettning från rumstemperatur till testtemperatur, testtemperatur i 1 minut, därefter avkylning till rumstemperatur. Resultaten (se bild 5) visar att det även i 70 °C sker stora förändringar.

Dessa försök visar att förändringar sker i bindemedlet då det påverkas av avisningskemikalier och värme. I teorin kan en varm sommardag eller nysasfaltering starta skademekanismer. De skador som skett på flygplatserna har upptäckts under heta sommardagar eller i samband med nysasfaltering. Koktester kanske ger en indikation på skademekanismen. Därför måste resultaten från koktester ytterligare analyseras. Koktesterna utfördes alldeles i slutet av projektet och det var därför inte möjligt att dra allt för långt gående slutledningar.

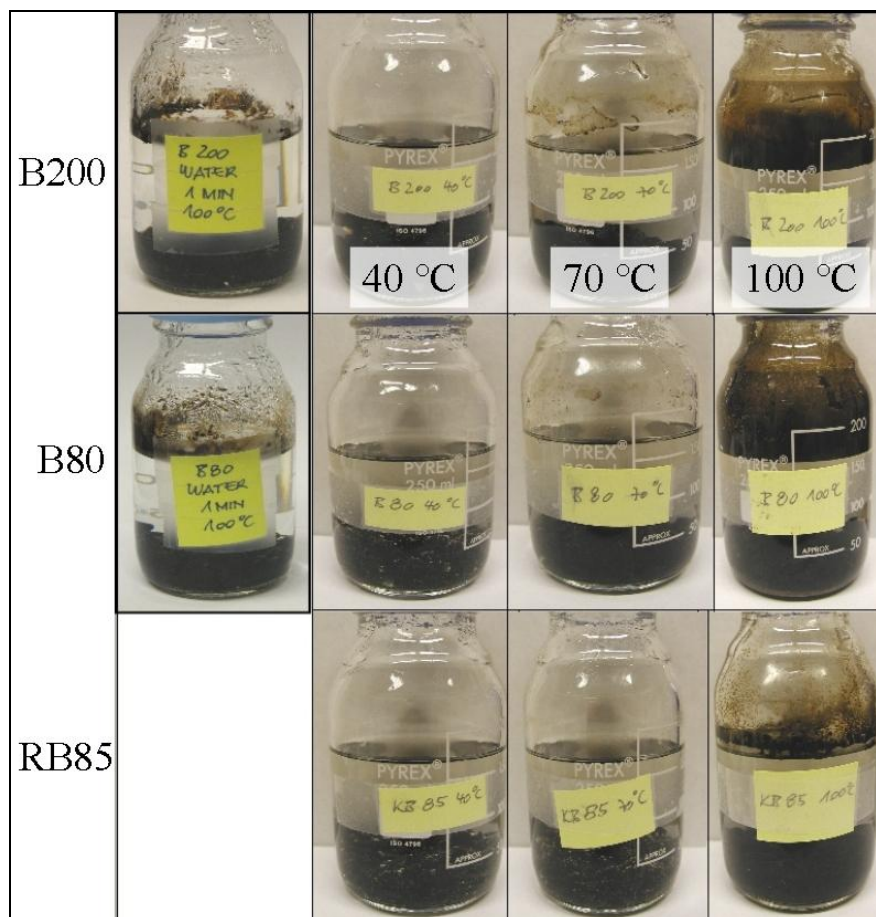


Bild 5: "Test i slutet kärl". Tre kolumner till höger är med 5 % kaliumformiatlösning. Vänstra kolumnen är med vatten och i 100 °C.

2.4 Asfaltundersökningar

Upptäckten av skador på flygplatser tyder på att beläggningsarbeten (nyasfaltering) kan ha effekter som bidrar till skademekanismen. Teorin för skademekanismen innefattar höga temperaturer. Väglaboratoriet tillverkade asfaltprov som exponerades för avisningsmedel. Ny asfalt utlades över de exponerade proven. Efter avkyllning sågades provkropparna itu. När de sågade provkropparna hade torkat, sågs förändringar: Provkroppar, som inte hade exponerats för kemikalier, var torra och ljusa, medan provkroppar, som hade exponerats för kemikalier, var fuktiga och mörka (bild 6). Avisningsmedlet är enda förklaringen.

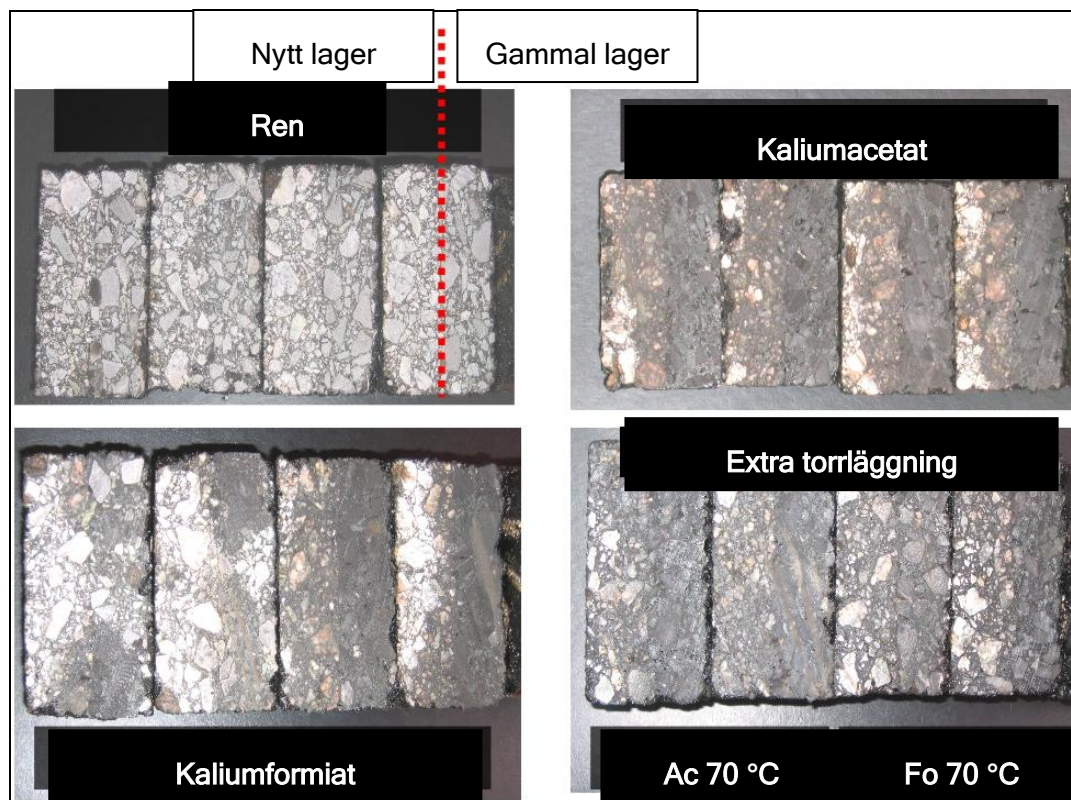


Bild 6: I avisningskemikalier exponerade provkroppar efter återbeläggning och torrläggning.

2.5 Övrigt

Vissa tester och kemiska analyser, som utfördes under projektets slutskede, ger indikation på att förändringar sker i bindemedlet. Förutom att avisningskemikalierna "kör ut" de lätta fraktionerna med blödnings och nedsmutsning som resultat, så har man i projektet också fått indikation på att halten PAH i beläggningen ökar på grund av de-icing kemikalierna. Detta rön har inte kunnat verifieras med säkerhet. Verifiering av detta resultat fordrar mycket utförliga kemiska analyser. Om resultat visar sig vara sant, kan branschen ha fått ett nytt miljöproblem.

3 Experimentfält jämte skador

Projektet byggde experimentfält på Kuusamo flygplats år 2004. Projektet hade dessutom experimentfält i Rovaniemi, som Finavia hade byggt år 2001. Väglaboratoriet gjorde en besiktning i Rovaniemi år 2005. Allt som allt registrerades 24 punkter med skador. Skadorna var så pass små att de inte påverkade farbarheten. Man kunde dra instruktiva slutsatser. Mjukt bitumen har släppt mer än hård bitumen. De experimentfält som exponerats med formiat har mera skador än de övriga fälten.

Väglaboratoriet tog också borrhärdor från startbana 1 på Helsingfors-Vanda flygplats. Asfalten, i synnerhet i bärlagret, hade dålig hållfasthet: Hållfastheten var så låg att man för hand kunde söndra borrhärdorna. Proven hade stark acetatlukt. Detta iakttagande kan tolkas med att bindemedlet dels har tvättats bort i bärlagret eller bitumen har förändrats.

5. FORSKNINGSPROJEKT SOM PRESENTERATS VID FÖRBUNDS- UTSKOTTSMÖTET I TRONDHEIM 2007



Asfaltutskottets forsknings- och utvecklingspris 2007

Efter omröstning bland medlemmarna i förbundsutskottet utsågs Nils Rydén från Sverige till 2007 års mottagare av Beläggningsutskottets forsknings- och utvecklingspris.

Sprickmätning på belagda vägar
Tero Lassila, Juha Äijö
Ramboll Finland Oy

Ramboll Finland Oy

Piispanmäentie 5
PL 3
02240 Espoo
Puhelin 020 755 611
www.ramboll.fi

Automatisk mätning av beläggningsskador

Datum 8.6.2007

Erfarenheter av sprickmätningar och analysering av resultat 2006

1	Bakgrund	2
2	Belagda vägnätet	2
3	Sprickmätning av beläggning	2
4	Resultat	4
5	Mätningens kvalitet	6
6	Erfarenheter av mätningar som utförts 2006	7
7	Slutsatser	7

1 Bakgrund

2

Projektet "Automatisk mätning av beläggningsskador" (APVM) är ett delprojekt till Vägförvaltningens stora VOH-projekt ("Förvaltning av infrastrukturegensdom").

Inom APVM-projektet har man utvecklat både utrustning och metoder för att automatiskt kunna uppmäta och dokumentera beläggningsskador, såsom sprickor.

Inventering och mätning av sprickbildning har i allmänhet gjorts subjektivt. I detta projekt har man utvecklat en metod för automatisk sprickmätning. Manuell sprickinventering är tidskrävande och den kräver också mycket resurser. Information, skapad med manuell inventering, är subjektiv och alltför mycket beroende av utföraren, trots att personalen är duktig och utbildad för arbetet.

APVM-projektet startade år 2004 genom att testa olika automatiska mätmetoder och -system för inventering av sprickbildning. I jämförelsemätningar märkte man att automatiska metoder kan producera pålitligt mätdata med bra kvalitet. Dessutom var de automatiska mätningarna snabba att utföra, jämfört med den visuella inventeringen.

Efter testmätningarna i 2004, valde Vägförvaltningen Ramboll Finland Oy för att utföra automatisk mätning av beläggningsskador.

2 Belagda vägnätet

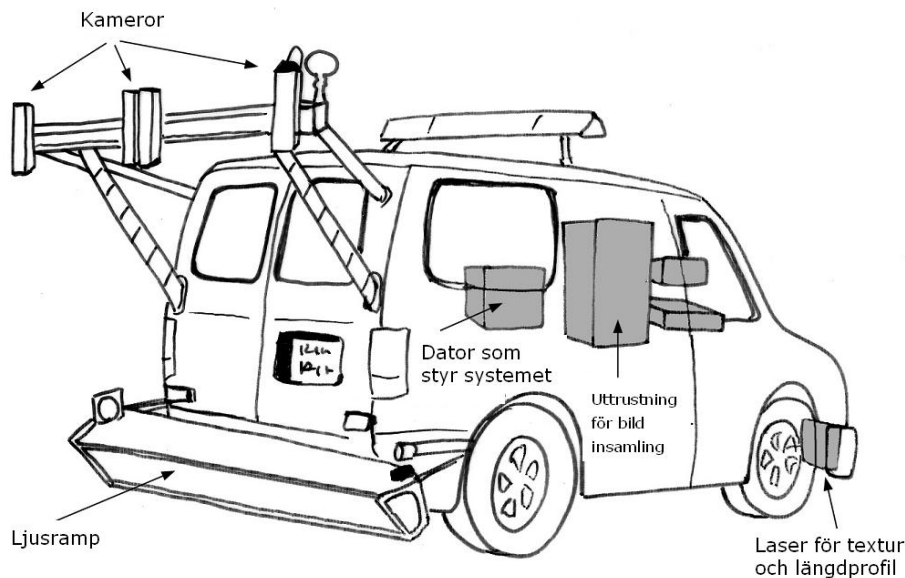
Vägförvaltningen gjorde ett två-årigt serviceavtal med Ramboll om att utföra automatiska sprickmätningar på belagda vägar under åren 2006-2007. Mätningarna i 2006 utfördes enligt planerna och den här rapporten presenterar erfarenheter och resultat av första årets mätningar.

I år 2006 mättes 11 300 km väg. Mätningarna utfördes i alla vägdistrikt och i samma proportion med vägnätets längd. Cirka 20 % av mätningarna gjordes på vägar vars genomsnittliga dygnstrafik är över 1500 ÅDT.

3 Sprickmätning av beläggning

3.1 Datainsamling

Mätutrustning samlar data med hjälp av fyra videokameror som avbildar vägytan kontinuerligt när fordonet kör. Mätningen görs i trafikens hastighet, liksom i andra vägytemätningar (jämnhets- och spårsmätning). Mätningen kan utföras på vilken tid på dygnet som helst och dess bredd är 3,5 meter. Fordonet körs mitt på körbanan, så att kameror på vänstra sidan avbildar mittlinjen. På smala vägar måste kameror på högra sidan dock avbildas beläggningen. Längdmätning görs med hjälp av en pulsgivare och GPS-lokalisering.



Figur 1. PAVUE utrustning, som används vid sprickmätningar. Principbild av mätutrustningens placering.

Mäthastigheten är 5–90 km/h. Fordonets alla kameror är synkroniserade att avbilda samtidigt. Måttidpunkt bestäms enligt sträckan, som pulsgivaren har registrerat. Ett belysningsystem, som belyser vägytan, hör till mätutrustningen, så att ljusförhållanden är enhetliga.

Utöver kameror, belysning och datorer i fordonet finns det också lasersensorer som mäter vägytans grovhet. Bilder som tas av vägytan lagras på band eller utbytbar hårddisk.

3.2 Spricktolkning

Före spricktolkning sammanfogas fyra parallella bilder som har tagits av vägytan. Så här blir det en bild, som visar ett körfält på bredden och oavbrutet på längden. Bilder, som visar hela måtbredden, analyseras på kontor och av dem görs en bildtolkning, en sprickanalys.

Beläggnings texturvärden styr parametrar som används i bildtolkningen. Det här är nödvändigt eftersom bakgrundsbrus, som ytans stenar och textur skapar måste tas bort. Samtidigt måste man säkra att data om riktiga sprickor inte tas bort när bakgrundsbruset elimineras. På grund av identifierade sprickor beräknas sprickvariabler, andel sprickor och andel sprickor i olika delar av körbanan.

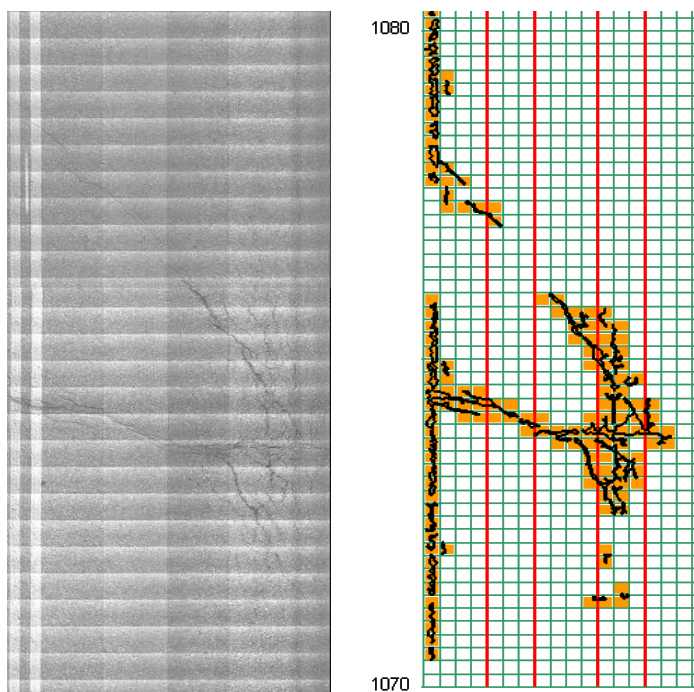
4 Resultat

4

Vägförvaltningens syfte är att mäta sprickbildning både på enstaka vägar och på hela vägnätet. Syftet är att klarlägga sprickbildningens andel samt att uppskatta sprickornas typ och kartlägga i vilken del av körfältet de förekommer. Vägförvaltningen får APVM-mätningars resultat, som är beräknade över 10 m och 100 m observationssträckor.

Sprickvariabler är parametrar som är utvecklade för särskilda funktioner. Vägförvaltningen använder nu en sprickparameter, som beskriver tillståndet på vägnätsnivå. Parametern kallas *andel sprickor* (översatt från finska) och dess enhet är %. *Andel sprickor* beräknas med hjälp av rutnätet, som är lagd över mätområdet i bildtolkningen.

I Finland används rutnät med 20 x 20 cm rutor som placeras över det uppmätta området. Varje ruta där det finns sprickor anses vara sprucken. Andel spruckna rutor räknas. Rutornas storlek bestäms separat för bildtolkning enligt behov. Figur 2 visar 10 m sammanställning av digitala bilder och motsvarande sprickkarta med rutnät-och körspår.



Figur 2. Bilden som är samlad från vägen och resultat av spricktolkning.

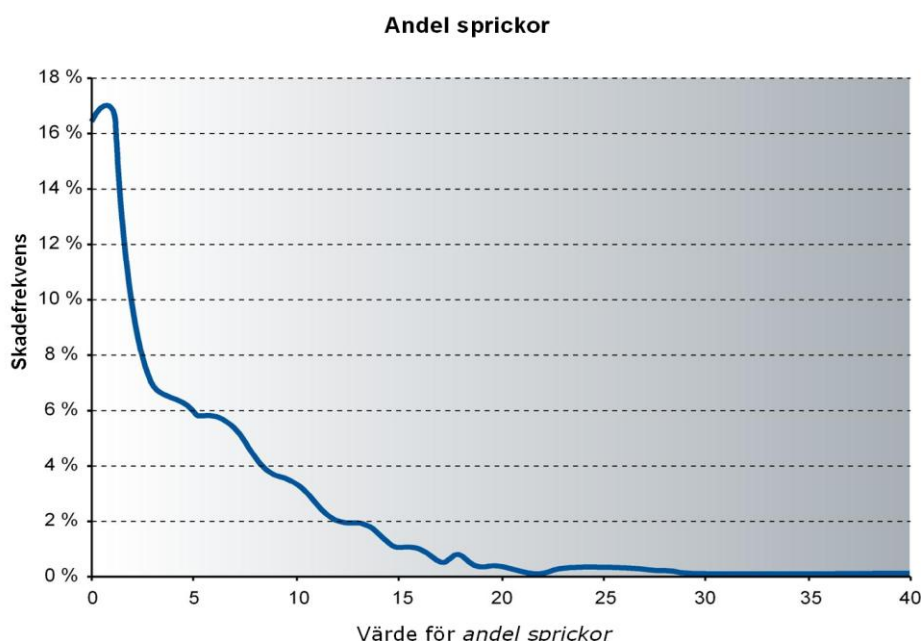
I Finland används en parameter, för att avbilda hela körfältets sprickbildning, samt fem olika parametrar, i vilka andelen sprickor beräknas i fältets olika delar. Vägens körspårs läge har bestämts geometriskt, eftersom deras läge inte ännu kan bestämmas dynamiskt. Det vänstra körspåret börjar 80 cm från mätområdets

vänstra kant och körspåret är 60 cm brett. Området mellan spårfälten är 80 cm brett och också det högra körspåret är 60 cm på bredden. Området på dikessidan är 70 cm brett, på grund av att måtbredden är 3,5 meters. Med hjälp av de här gränserna kan körbanan delas in i fem delar: körspår, fältets vänstra kant, fältets högra kant och mittområdet mellan spåren. *Andel sprickor* i körbanans olika delar definieras genom att jämföra antalet spruckna rutor på området med områdets alla rutors antal. Körbanans olika delar visas i sprickkartan (CTM, Cracked Tile Map) som gulfärgad. (se figur 2)

Sprickparametrar som definieras på körbana (%):

- VO Andel sprickor på hela körfältet
- VO_vas Andel sprickor på fältets vänstra kant
- VO_auv Andel sprickor i vänstra körspåret
- VO_keski Andel sprickor mellan körspår
- VO_auo Andel sprickor i högra körspåret
- VO_oik Andel sprickor på fältets högra kant

Figur 3 visar hur uppmätta resultat från 2006 (räknat över 100m observationsträckor) fördelar sig. Största delen av de uppmätta vägarna har *andel sprickor* under 5 %, vilket betyder att sprickbildningen är liten. Värden över 5 % betyder att sprickbildning har börjat och över 10 % betyder att åtgärder behövs.

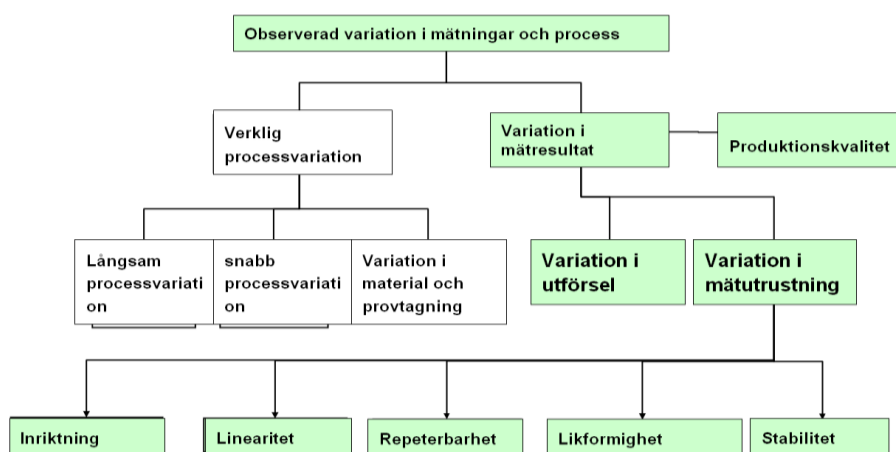


Figur 3. Resultatfördelning av uppmätta värden för **andel sprickor** i 2006.

5 Mätningens kvalitet

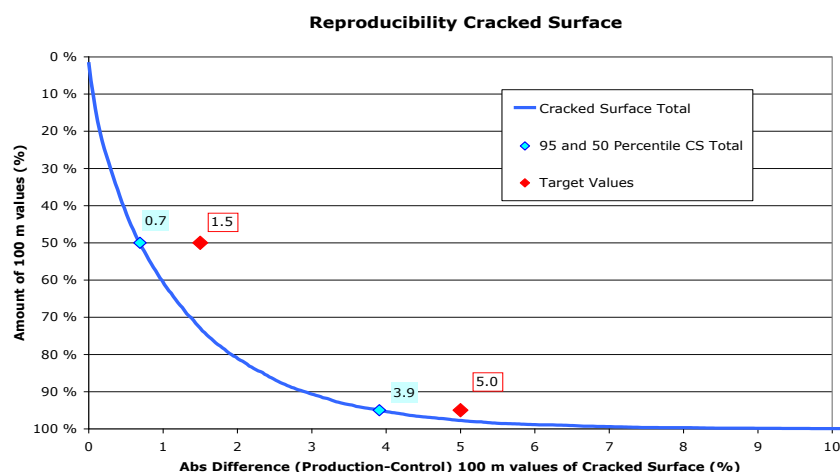
6

Den automatiska sprickmätningens kvalitet har motsvarat riktigt bra resultat från jämförelsemätningar i 2004. Kvalitetskontroll och kännedom om faktorer som påverkar kvaliteten är viktigt för datautnyttjandes skull. Figur 6 visar en modell som används i övrika vägmätningars och sprickmätningars kvalitetsarbete. Modellen förklarar några faktorer som påverkar det resultat som är mätt från vägytan.



Figur 4. Olika faktorer som påverkar mätkvalitet och spridning som man har i mätresultat. (Qualitas Fennica Oy / editerad P.Virtala/Vägförvaltningen).

Figur 5 visar årets 2006 produktions- och kontrollmätningars verkliga och krävda kvalitet, dvs repeterbarhet.



Figur 5. Repetitionsmätningars (produktion- och kontrollmätningar) relativa skillnader och kvalitetskrav för mätningar.

50 % av observationer har mindre skillnad än 1 % mellan två mätningar. Resultatet motsvarar de förväntningar man har på metoden.

7

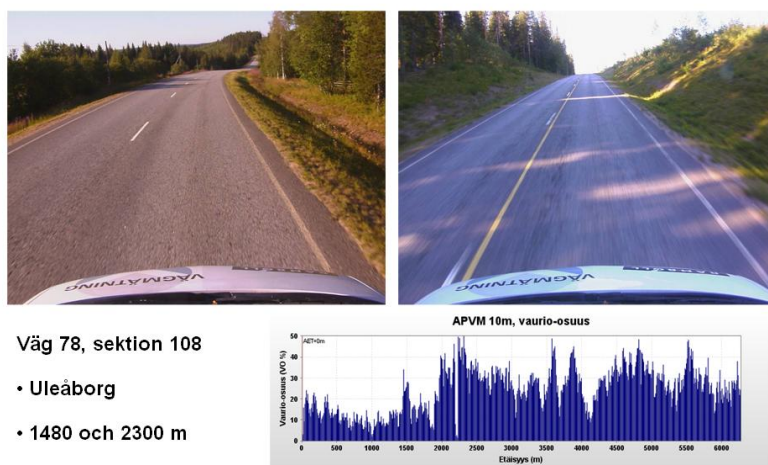
6 Erfarenheter av mätningar som utförts 2006

Utförandet av sprickmätningar är på sätt och viss lättare än motsvarande vägytemätningar. Om vägytan är blöt blir bilderna överexponerade. Därför bör sprickmätningar inte göras på våta beläggningar.

Man har pratat om mätbredden, som är 3,5 m. Enligt anvisningarna måste kameror på högra sidan avbilda beläggningen. Det betyder att på smala vägar är kamerorna på vänstra sidan betydligt inne på det andra körfältet. Då är körspåren med standardbredd också i fel läge. En lösning kunde vara att göra mätbredden smalare till 3,2 meter.

I bildtolkningens kvalitetsbedömning har cirka 1 % av mätningarna krävt granskning och omvärdering. Det har funnits två orsaker till det här: grovt, ljust stenmaterial, som använts i beläggning på riksvägar, vilka har behandlats med Remix-metod, samt lossning och hålbildning i beläggningen.

Lossning i beläggningen orsakar höga andelar sprickor och de accepteras som en del av sprickdata.



Figur 6. Lossning i beläggningen märks i spricktolkningen.

7 Slutsatser

Det kan sägas att man med hjälp av den automatiska sprickmätningssmetoden (APVM) kan utföra produktionsmätningar på vägnätets nivå. Resultaten från sprickmätning, tillsammans med resultat från vanliga vägytemätningar, är normalt ett mycket bra underlag för bedömning av underhålls- och insatsbehov.

Automatisk mätutrustning noterar tydliga och stora sprickor. Då man jämför resultat från traditionell bedömning med resultat från automatiska sprickmätningar så motsvarar resultaten varandra och vägytans verkliga kondition. Sprickor detekterade med metoden kan hittas från vägytan och de kan verifieras i bilder från vägytan.

Den automatiska sprickmätningmetoden har tagits i bruk av Vägförvaltningen i Finland. Tack vare metoden har man kunnat frångå den traditionella subjektiva metoden för uppskattning av sprickskador.

Information insamlas nu om *andelen sprickor* samt deras läge på körbanan. Med hjälp av bildtolkningens resultat har sprickbildningsdata utvecklats framåt och metoden ger ytterligare möjligheter till att utveckla vägarnas tillståndsbedömning. Till exempel om sprickor förekommer mest i körspår är sprickbildningen förmodligen orsakad av trafikbelastning.

Vägförvaltningen är intresserad av nya möjligheter att utnyttja sprickmätningdata. Ett av de nya projekt som sammanhänger med sprickmätning, är att utforska hur man kunde använda mätdata i kvalitetskontroll för stora och långvariga vägbyggnadsprojekt. Också entreprenörerna är intresserade av att utnyttja automatisk sprickmättningsresultat i långvariga projekt.

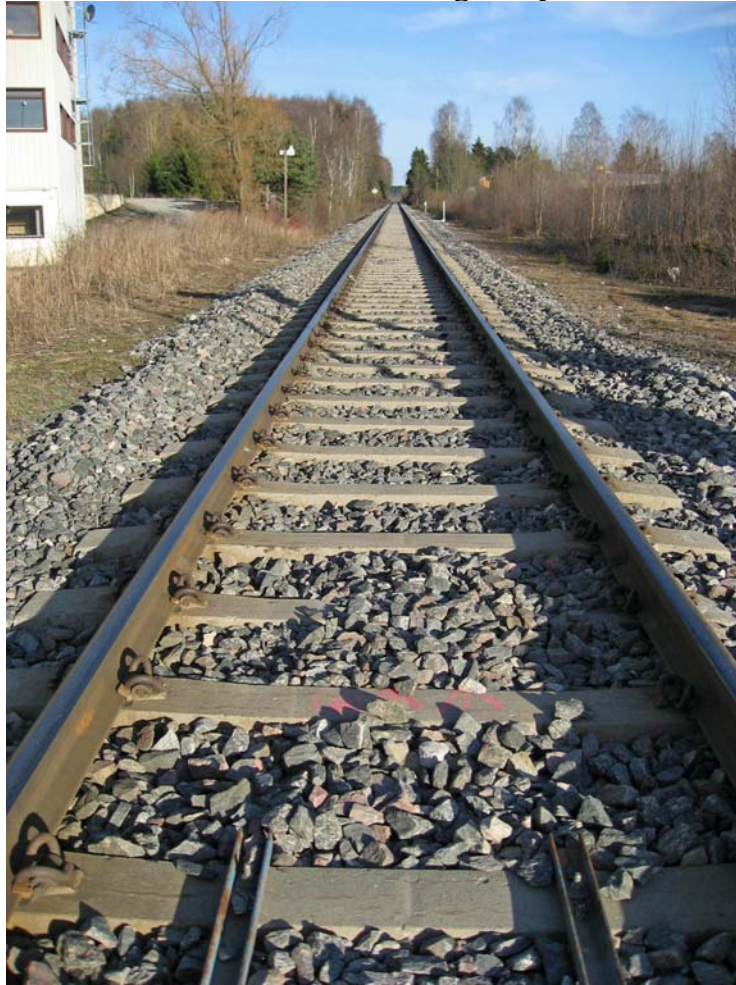
Automatisk sprickmätning har prövats i praktiken (11 300 km i 2006). Under år 2007 skall man utföra 1400 km mätningar. Mätinformationen är pålitligt och ger nyttig information om sprickbildningen på vägen och på hela vägnätverket.

Ny, norsk vegprofilskanner 2007



Torleif Haugødegård
Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen Trondheim mai 2007

Noen trafikanter må ha gode spor....



Mens andre trafikanter får advarsler om spor....



Bakgrunn, ALFREDBilenes historie

Statens vegvesen har siden 1987 brukt målebilen ALFRED til kartlegging av vegdekkenes tilstand i form av hjulspordybder, tverrfall og ujevnheter IRI*. ALFREDBilene ble utviklet i et samarbeid mellom Vegdirektoratet, vegvesenets distriktskontor i flere fylker og flere private firma.

Siden 1997 har måleutstyrets tekniske konstruksjon vært uendret og basert på 17 ultralydsensorer for måling av tverrprofilen over kun 2m bredde.

Lengdeprofilen er målt med 1 lasersensor over ytre hjulspor.

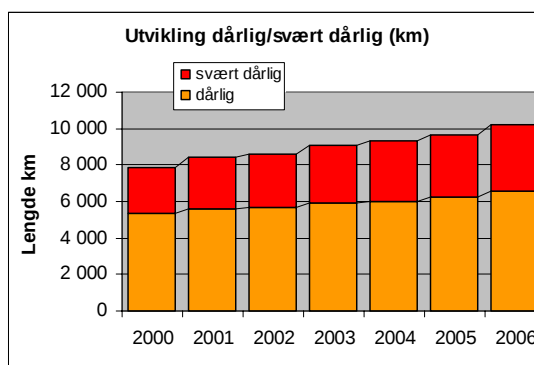
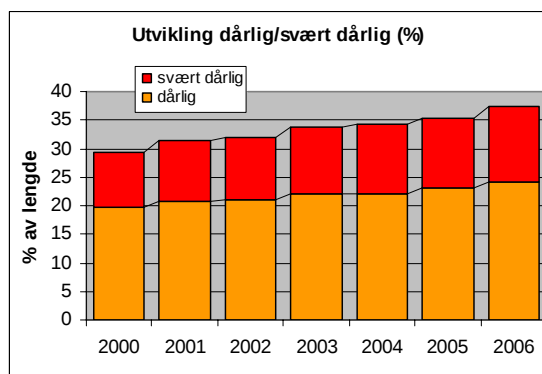
Digitale stillbilder er tatt hver 20 m i begge kjøreretninger samtidig med tilstandsmålingene.

13 målebiler har utført årlige måleprogram på over 80000 km med målinger i begge kjøreretninger på riks- og fylkesvegnettet, et måleomfang som i 2006 var litt over 96% av riksvegnettets lengde.



12 ALFREDer på kalibreringssamling i Sarpsborg april 2002

Måleresultatene har gitt god dokumentasjon av vegdekkenes urovekkende tilstandsutvikling de siste åra for Norges 27000 km riksvegnett:



*) International Roughness Index, ujevnhetsindeks for lengdeprofilen i ytre hjulspor.

ALFRED erstattes av ViaPPS

Både ultralydsensorene og programvaren i ALFRED hadde i 2005 nådd en alder og kvalitet som gjorde det nødvendig å finne erstatningsutstyr basert på nyere teknologiplattformen med bedre egenskaper. Vi ønsket bl.a. å fjerne den tunge og trafikkfarlige målebjelken foran på bilen og samtidig kunne måle hele kjørefeltets bredde (minst 4 m).

Etter en vurdering av tilgjengelig måleutstyr på verdensmarkedet ble det bestemt å utvikle et måleinstrument som skulle registrere tverrprofilens form med en laser som skanner vegdekkets overflate. Utviklingsprosjektet startet i 2005 basert på et forslag fra firmaet ViaTech AS, Kongsberg. To prototyper ble levert i 2006 og seks enheter vil være i drift i Statens vegvesen høsten 2007.

Good old ALFRED! 20 years in service!



Beam technology with 17 Ultrasonic Sensors!

ViaTech Pavement Profile Scanner - ViaPPS



One scanning Laser Sensor takes over!

Mange forskjellige typer tverrprofil må vegprofilskanneren kunne registrere.

Gjennomslitt asfalt på Norges hovedveger E6 Gardermoen 2007



og E18 Sandefjord 2006



Spordybdeparasjoner v/sporfyllingstiltak på E6 nord for Oslo 2006



Hjulspor som ikke skyldes piggdekkslitasje -



- er det også nok av eksempler på!



Nylagt asfalt skal ikke ha hjulspor! Vegprofilskanneren dokumenterer slike feil.

Splitter ny asfalt levert med ferdigkjørte hjulspor....



Nylagt asfalt levert med krum rygg mellom hjulspora....



**Men slik kan det også gjøres!
Perfekt jevnhet i både tverrprofil og lengderetning!**



Vegholderens ønskedrøm! Vakre kurver i rolig landskap uten biltrafikk...



Vegprofilskanneren har en laser (klasse 3) montert på biltaket ca. 210 cm over vegdekket. Et roterende speil sender laserstrålen over vegdekket 140 ganger i sekundet.



Målebredden er ca. 4 m med vertikal målenøyaktighet ca. 1mm. **Oppløsningen** er ca 550 målepunkt over målt bredde; ca. 0,7 mm mellom punktene i tverrprofilet. Ved målebilhastighet 80 km/t er **avstanden mellom hvert tverrprofil** ca. 16 cm.

Laseren registrerer også **vegmerkingslinjene** ved å detektere refleksjonsintensiteten, som er høyere enn for asfalt.



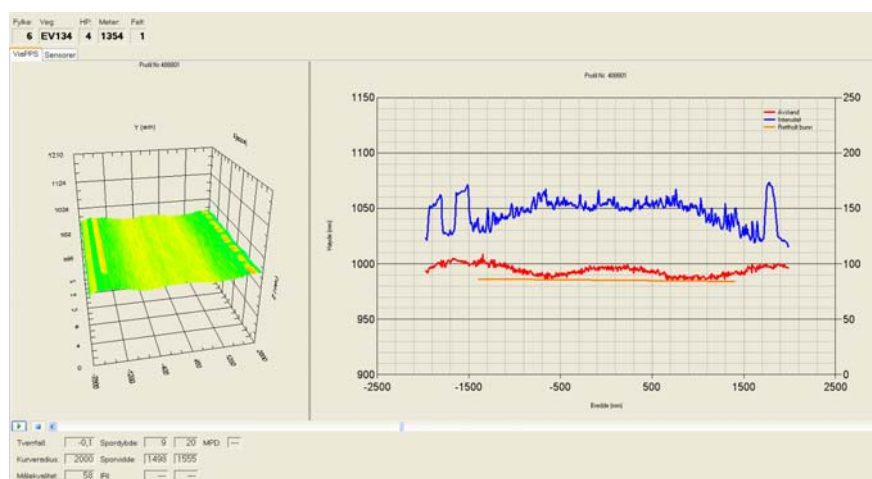
Enkel kalibrering av laserposisjon før måleoppdrag startes.



Vegprofilskannerens programvare viser måleresultater i 2D og 3D



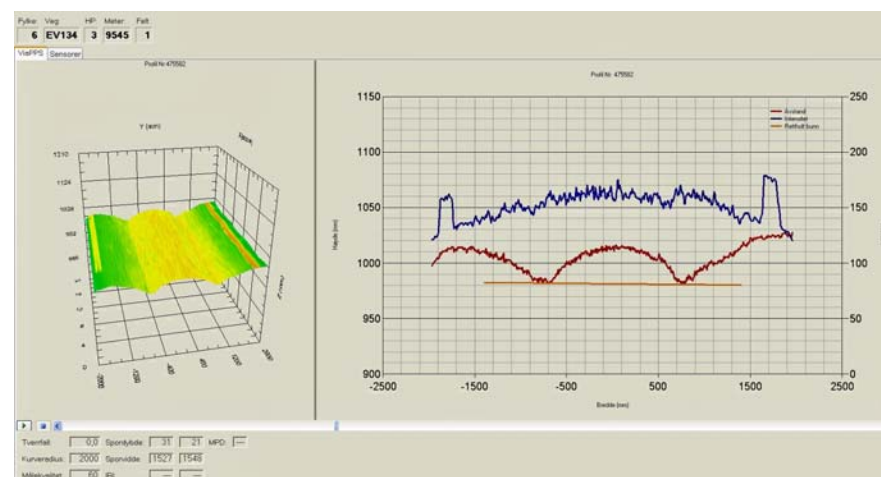
Eksempel fra
stamveg E134
sør for Kongsberg



2D-grafen til høyre viser
asfaltdekkets overflateprofil
(**rød**) og laserstrålens
refleksjonsintensitet (**blå**).

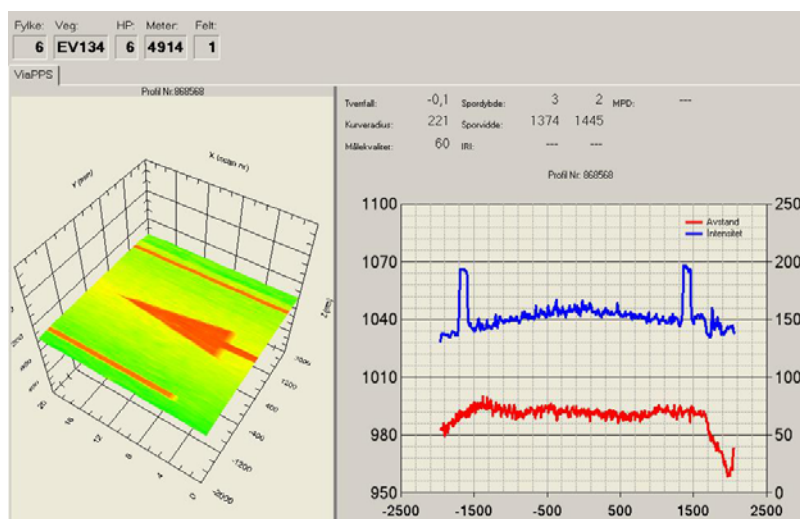
3D-grafen til venstre viser
tverrprofilmålingene over
20m lengde med fargeskala
gradert etter
refleksjonsintensitet.

Spordybde ca 9 mm, dobbelt midtlinje og stiplet kantlinje detektert, kjørefeltbredde kan beregnes



Spordybde ca 31 mm, midtlinje og kantlinje detektert

Jevnhet av nylagt asfalt skal dokumenteres.



Asfaltoverflate, asfaltkant, midtlinje og kantlinje er registrert.



Alle målinger og fotografering (to kamera) styres av én person.



Vegprofilskanner ViaPPS på veg!

Funktionell kvalitetsvärdering med ljudvågor

Nils Ryden

Peab Sverige AB och Lunds Tekniska Högskola

Inledning

En ny teknik för oförstörande provning av vägar har utvecklats i detta doktorandprojekt. Tekniken bygger på ljudvågsmätningar (seismik) och gör det möjligt att mäta upp styvheten och tjockleken på olika lager i en vägkonstruktion. Metoden har redan kommit till stor praktisk nytta inom Peabs *SwePave* koncept vilket är en metodik för att säkra funktionskrav vid byggnation av vägar och andra överbyggnadskonstruktioner. Här används metoden för kvalitets kontroll av alla ingående material i den aktuella konstruktionen. Metoden har också visat sig användbar för oförstörande provning av olika typer av betongkonstruktioner och har redan tillämpats på kärnkraftverk i Sverige och Finland.

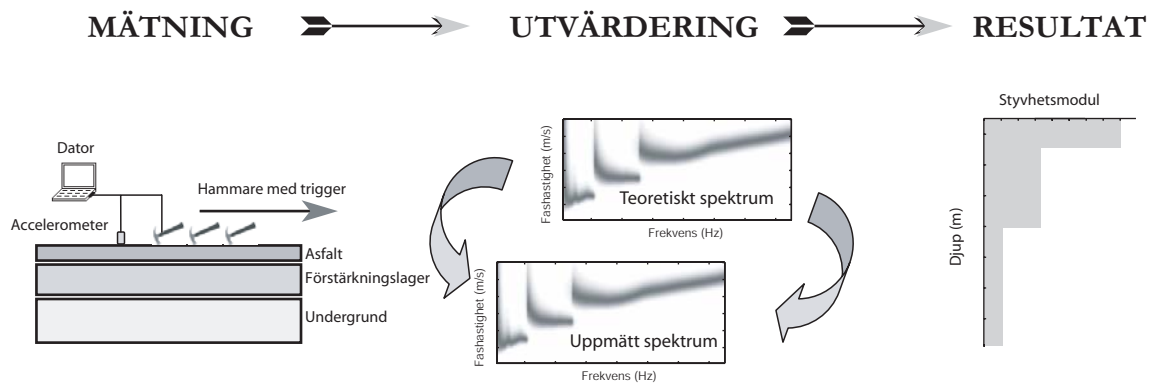
Bakgrund

Ökande krav och utnyttjandegrad av både nya och gamla anläggningskonstruktioner ställer ökande krav på kvalitetssäkring och oförstörande provning. Inom vägbyggnadstekniken finns det ett behov av att kunna mäta upp materialegenskaper i nya och gamla konstruktioner utan att gräva eller borra upp material. Satsningen på analytisk vägdimensionering och funktionsemprenader kräver att det går att mäta upp samma fundamentala materialegenskaper (styvhetsmodul), i både fält och laboratorium, som används vid dimensioneringen. Seismiska/Akustiska mätningar erbjuder en möjlighet till detta genom att den dynamiska styvheten vid små töjningar är direkt analytiskt kopplad till den uppmätta vågutbredningshastigheten.

Syfte och resultat

Syftet har varit att utveckla en ny metod för oförstörande provning av vägar och betongkonstruktioner. Metoden bygger på att generera och mäta upp så kallade ytvågor på ytan av en konstruktion. Genom att analysera hastigheten, över en sträcka på ca 1-3 m längs vägytan, för olika frekvenser kan vägens strukturella uppbyggnad (tjocklekar på lager med olika styvhet) uppskattas. Detta ger ett verktyg där tjocklekar och styvheter i vägkroppens lager kan studeras vid olika tidpunkter och i olika sektioner längs vägen. Metoden förväntas kunna användas både som statuskontroll av befintliga vägar samt vid kvalitetsvärdering av egenskaper i nya vägar.

Vågutbredningen över en vägyta visade sig vara betydligt mer komplicerad än vad som tidigare antagits (Ryden och Lowe, 2004). För att kunna utveckla en robust och tillförlitlig metod (veta vad man gör) har därför större delen av projektet lagts på vågutbredningsteori. Baserat på resultaten från denna studie har en ny metod för att utvärdera tjocklekar och styvheter på lagren i en vägkropp tagits fram. Metoden ger också asfaltens frekvensberoende styvhet över de frekvenser som mäts upp (ca 30-10 000 Hz). Figur 1 visar en schematisk bild av metodens tre olika steg, mätning, utvärdering, och resultat, (Ryden och Park, 2006).

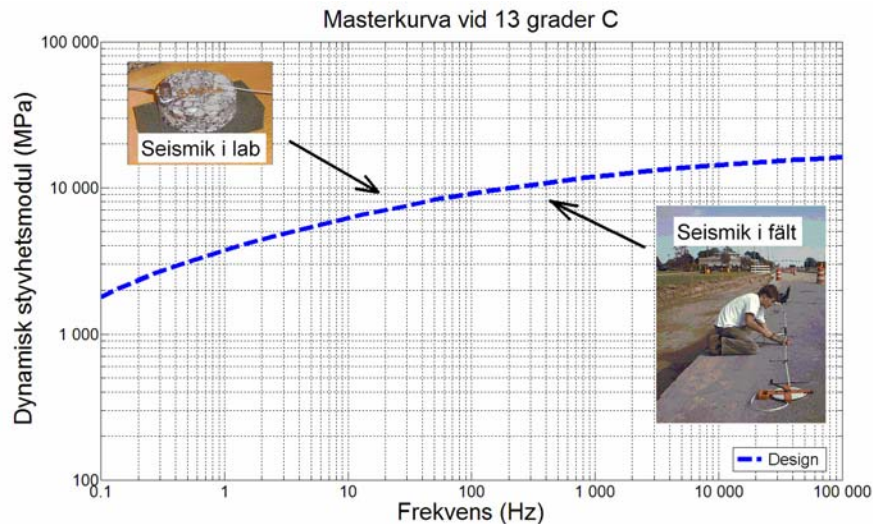


Figur 1. Schematisk illustration av mätning, utvärdering, och resultat.

Resultatet från projektet kan sammanfattas som en grundläggande studie av vågutbredning i vägar och utveckling av ett nytt koncept för mätning och utvärdering av data. Projekt och mätningar där metoden hittills har testats med lovande resultat har sammanfattats nedan:

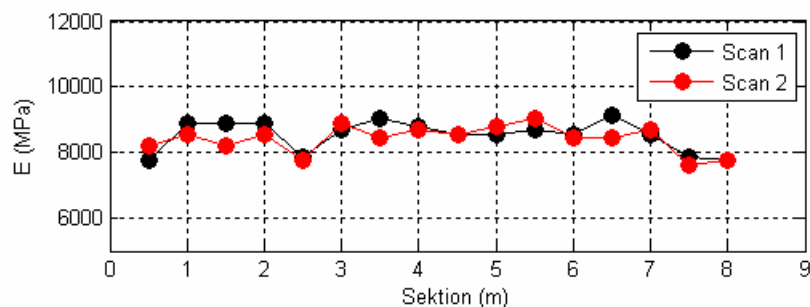
- Styvhetsmodul, tjocklek, och tvärkontraktionstal i betongplattor och asfaltbeläggningar.
- Tjocklek och styvhetsmodul i alla lager i en vägkonstruktion.
- Hållfasthet, styvhet, och tvärkontraktionstal i stabiliserat material.
- Registrering av härdningsförloppet i cement/merit och kalk/merit stabiliserat material samt kalkmodifierad jord.
- Variationen i dynamisk styvhetsmodul i reaktorinneslutningar av betong.
- Packningskontroll av obundet material i vägöverbyggnader.
- Hydraulisk konduktivitet i geologiska barriärer.

Forskningsprojektet är aktivt och just nu pågår bland annat arbete med laboratiemätningar på asfaltprover samt profilerande mätningar i fält med kontaktlösa givare. Det är av stor vikt att kunna mäta upp exakt samma fundamentala materialegenskaper i både laboratorium och fält som används vid design. Därför har en teknik baserad på egenfrekvensmätningar av asfaltprovkroppar i laboratorium utvecklats. Metoden kan tillämpas på både laborietillverkade provkroppar och borrhärdingar med godtycklig storlek. Tillsammans med fältmätningarna ger detta en möjlighet att mäta upp asfaltens styvhetsmodul över olika frekvenser (masterkurva) på ett enkelt och kostnadseffektivt sätt i både laboratorium och fält, se exempel i Figur 2.



Figur 2. Exempel på asfaltens masterkurva (styvhetsmodulen som funktion av reducerad frekvens vid en referenstemperatur) vilken kan mätas upp i både laboratorium och fält med den nyutvecklade tekniken.

Arbetet med kontaktlösa givare (mikrofoner) gör det möjligt att mäta i rörelse och på så sätt kunna scanna av en hel väg i rimlig tid utan kostsamma avstängningar. En prototyp är under utveckling på Lunds Tekniska Högskola och exempel på resultat presenteras i Figur 3.



Figur 3. Forskning och utveckling av rullande mätsystem med kontaktlösa givare för kontinuerliga mätningar på asfalt, betong, och stabiliserad jord. Exemplet ovan visar resultat från två mätningar i samma linje på en parkeringsplats belagd med asfalt.

En utförlig beskrivning av metoden finns redovisad i sammanläggningsavhandlingen "Surface Wave Testing of Pavements" (Ryden, 2004).

Slutsatser

Inom projektet har en ny metod för oförstörande provning av alla typer av ingående material i förekommande anläggningskonstruktioner utvecklats. Metoden kan bland annat användas för att bestämma styvheten och tjockleken på olika lager i en vägkonstruktion. Arbete pågår för att utveckla snabbare och användarvänlig mätutrustning, samt fler tester för att kvantifiera osäkerheter och begränsningar i metoden. Metoden har implementerats i Peab's vägbyggnadskoncept "SwePave" och har tilldelats Sigge Thernwalls Stora Byggpris för forskning och utveckling inom anläggningsteknik. Under det senaste året har metoden börjat användas på universitet i Tyskland, Belgien, USA, Canada, Indien, och Kina.

Genomförande

Med stöd från VINNOVA, Vägverket, och SBUF och har projektet drivits som ett industridoktorandprojekt (Nils Ryden Peab/LTH) inom Väg-Bro-Tunnel konsortiet. Förutom Lunds Tekniska Högskola har Kansas Geological Survey i Kansas och Imperial College i London medverkat med värdefull handledning till projektet.

Ytterligare information och referenser

Kontaktperson:

Nils Rydén, Peab, tel 0733-374936, e-post: nils.ryden@peab.se.

Ryden, N., and Park, C.B., 2006, Fast Simulated Annealing Inversion of Surface Waves on Pavements using Phase Velocity Spectra, *Geophysics*, Vol. 71, No. 4, pp R49-R58.

Ryden, N., 2004, Surface Wave Testing of Pavements, Lunds Tekniska Högskola, ISBN 91-973406-4-2. (<http://lthtg.tg.lth.se/%7Enry/>)

Ryden, N., and Lowe, M., 2004, Guided wave propagation in three-layer pavement structures, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 116, No 5, pp 2902-2913.

Internet:

<http://lthtg.tg.lth.se/%7Enry/>
www.peab.se/Referensobjekt/Swepave

Koldblandet genbrugsasfalt - fremtidens vej i Danmark?

Foredraget om Koldblandet genbrugsasfalt (KGA) bygger på vores afgangsprøve fra DTU Diplom Bygning sidste sommer.

Kombinationen af den moderne samfundsopfattelse, hvor bl.a. miljøet sættes i højsæde og en ressourcebesparende produktionsteknik er kernen i rapporten. Selv om idéen ikke er ny, så har KGA ikke eksisteret i Danmark længe nok, til at man med sikkerhed ved, hvilke fordele og ulemper der er med den. Vi har forsøgt at undersøge og svare på nogle af de væsentligste spørgsmål i vores rapport.

I vores foredrag vil vi vise den danske KGA's materialetekniske egenskaber med hjælp af anerkendte prøvningsmetoder og normforskrifter fra både Danmark, Norge og Sverige.

Efter at have fået et vist kendskab til KGA's egenskaber vil vi vise, hvilke resultater vi har fået med at dimensionere en vej efter den analytisk-empiriske metode med KGA.

På baggrund af denne dimensionering har vi set nærmere på de ressourcebesparende og økonomiske perspektiver. Dette vil blive vist med at sammenligne KGA med den traditionelle asfalt (VBA) mht. ressourceforbrug og pris pr. ton asfalt.

Til slut samler vi trådene med dels at vise, hvilke fordele og ulemper vi er nået frem til med dansk KGA, og derefter et oplæg til fremtidens arbejde.

Rapporten er skrevet af Jón Petersen og Lars K. Christensen

WARM MIX ASPHALT TECHNOLOGY ADOPTION

Ólöf Kristjánsdóttir, Transportation Engineer
VGK-Hönnun Consulting Engineers
Reykjavik, Iceland
olof@vgkhonnun.is

INTRODUCTION

Warm mix asphalt (WMA) is the broad term typically used for technologies that seek to lower emissions and reduce energy consumption by lowering the temperature at which asphalt mixtures are produced and placed. This paper examines the costs, benefits and risks associated with WMA technologies in an attempt to determine their most promising implementation path.

By looking at basic economic calculations, a survey of the Icelandic pavement industry and results from two projects in Maryland, U.S.A., the conclusion is drawn that it is unlikely that lower emissions and reduced energy consumption will be the catalysts for widespread WMA use because currently these benefits only overcome WMA costs in isolated scenarios. Reduced viscosity, however, makes the best business case for widespread WMA technology adoption because this benefit offers cost and risk reduction.

Although this paper examines published cost estimates and evidence of certain WMA benefits, these numbers should not be construed as an endorsement of any particular WMA technology over another. Further, the rigor of this paper is not in the detailed material property analyses but rather in a fair assessment of the business case for WMA adoption.

This article is a shortened version of a paper that was written in 2006 by Ólöf Kristjánsdóttir, Stephen T. Muench, Assistant professor at the University of Washington, Larry Michael, LLM Asphalt Technology Consulting and Gloria Burke, Maryland State Highway Administration, for publication at the TRB 86th Annual Meeting, and was based on the work done by Ólöf Kristjánsdóttir for her masters thesis at the University of Washington in 2006.

PRINCIPAL TYPES OF WARM MIX ASPHALT (WMA)

With HMA, heat is used to dry aggregate and reduce asphalt viscosity so that the asphalt will adequately coat the aggregate during mixing. With WMA, the heat is reduced and the asphalt viscosity reduction is assisted by (1) introducing water, chemicals or wax as an additional lubricant in the mixing process, (2) foaming the asphalt, or (3) combining the asphalt with water or other chemicals as in an emulsion. Currently, there are several substantially different methods for producing what is broadly termed WMA (Table 1).

TABLE 1 Warm Mix Asphalt Technologies Summary

Technology	WAM Foam	Aspha-Min	Sasobit	Evotherm
Producer	Shell & Kolo-Veidekke, Norway	Eurovia Services Germany	Sasol Wax Germany	MeadWestvaco, U.S.
Technology	2-part process: soft asphalt added first, then hard, foamed asphalt	Zeolite (21% water)	Fischer-Tropsch (FT) paraffin wax	Emulsion (70% asphalt) with additives
Recommended addition rate		0.3% by mix weight	0.8 to 3% by weight of asphalt binder	
Advertised mixing temperature reduction ^a	43 - 63°C	30°C	18-54°C	50-75°C
Plant modifications	Yes, for foam	Yes, to add material	Yes and no ^d	Minimal, if any
Reduced emissions ^b	30-98%	75 – 90%	No information	40 – 60%
Reduced energy consumption ^c	30 – 40%	30%	20%	50 – 75%
a. As compared to a standard of 160°C for HMA. (1,2,3,4,5). b. (6,7,8). c. (7,8,9,10,11,12). d. Modifications are necessary if Sasobit is added to the mixture, but not if Sasobit is added to the binder beforehand.				

WMA COSTS

Use of WMA technologies involves increased cost associated with equipment modification, royalty fees (for WAM Foam) and the cost of materials (e.g., Aspha-min, Sasobit and Evotherm) (see Table 2). The purpose of Table 2 is not to compare WMA technology costs, but to show that WMA has an associated cost that must be at least matched by their perceived benefits. Assuming WMA use increases, these costs will likely decrease over time.

TABLE 2 WMA Technology Cost

WMA Technology	WAM Foam ^a	Aspha-min	Sasobit	Evotherm ^b
Equipment modification or installation costs	\$30,000-\$70,000	\$0-\$40,000	\$0-\$40,000	minimal
Royalties	\$15,000 first yr \$5,000/plant/yr \$0.30/ton	None	None	None
Cost of material	N/A	\$1.3/kg ^c	\$1.7/kg ^d	7-10% more than asphalt binder
Recommended dosage rate	N/A	0.3% by weight of mix	1.5 to 3% by weight of binder	Use in place of asphalt binder
Approximate cost per ton of mix	\$0.30 ^e	\$3.60	\$1.30 – \$2.60	\$3.50 – \$4.00
a. (13,14) b. (15) c. (16) d. (17) e. Not including royalty costs.				

WMA BENEFITS

Interest in WMA seems to be driven by three major benefits associated with its use:

- Lower plant emissions during production, which benefits environment and personal health.
- Reduced energy consumption, which lowers fuel use and production costs.
- Reduced mixture viscosity, which can improve workability and compaction efficiency.

This section is an attempt to evaluate the potential practical and business impacts of each perceived benefit and evaluate the likelihood that a perceived benefit will be a driving factor in WMA use.

Lower Emissions

Reported measurements (6,7,8) show that pollutant emissions during WMA production are lower than those during HMA production. WMA emission measurements have been reported ranging between 30 and 98% of that for HMA depending on conditions (6,7,8). The importance of this WMA benefit

depends on the local environmental situation. Where emission regulations are getting stricter, reduced emissions can help meet the new limits. Reduced emissions may also encourage WMA use in densely populated areas where new emission sources are tightly controlled. However, unless there are requirements from authorities or special incentives for HMA producers to lower emissions, there may not be a direct economic benefit to the producer. Without a direct and quantifiable benefit to the producer, the importance of this WMA benefit in practice is limited.

In the U.S., the economic or regulatory incentive for HMA plants to adopt WMA technologies in order to reduce emissions exists but is limited (18). In Iceland, it appears that HMA plants are in full compliance with air quality regulations, thus the incentive to adopt WMA to reduce emissions remains low until emission limits are lowered (19,20).

Overall, HMA plants located in non-attainment or similar areas may see some economic incentive in selling their reduced emissions or increasing their mix output through WMA use. However, for other HMA producers there is little incentive. If lower emissions alone are to be a widespread viable incentive the rules must be changed: either stricter air quality standards or a formal inclusion of WMA as an emissions control technology (e.g. BACT).

Reduced Energy Consumption

Where the energy consumption for a WMA technology was measured, there was typically a 20 to 75% reduction compared to regular HMA production depending on how much the production temperature was lowered (7,8,9,10,11,12). The importance of this benefit depends on the type and cost of energy. In areas where energy cost is relatively high this benefit can be a significant incentive, while in areas where costs are relatively low this benefit is less of an incentive.

In general, HMA plants consume energy in two forms: (1) fossil fuel burned to heat and dry the aggregate, and (2) electricity to power all other machinery. Table 3 shows general costs for producing HMA and estimated savings from WMA based on these costs.

TABLE 3 Cost of Producing HMA and Savings from WMA for Select Locations

Location	Iceland	Honolulu, HI	Joliet, IL
Fuel Source	Fuel oil	Diesel	Natural gas
Fuel cost to make 1 ton of HMA ^a	\$5.00 – \$7.50	\$4.40 – \$9.00	\$1.75 – \$2.80
Electricity cost to make 1 ton of HMA ^b	\$0.16 – \$0.28	\$1.44 – \$2.53	\$0.36 – \$0.64
Total energy cost to make 1 ton of HMA	\$5.16 – \$7.78	\$5.84 – \$11.53	\$2.11 – \$3.44
20% savings with WMA	\$1.00 – \$1.50	\$0.88 – \$1.80	\$0.35 – \$0.56
50% savings with WMA	\$2.50 – \$3.75	\$2.20 – \$4.50	\$0.88 – \$1.40

a. Numbers taken from personal correspondence with a producer in each area. Aggregate moisture content assumed typical at 2 – 4%.

b. Average industrial retail price for each region, from the web page of Reykjavik Energy, www.or.is or (21). Taken as the average of 8 to 14 kWh per ton obtained from (20).

Overall, in places where fuel is relatively expensive (e.g., Iceland and Hawaii) the energy savings could offset the increased WMA expense (Table 2), if energy savings were on the order of 50%. Otherwise energy savings alone are less than the expense of WMA. As WMA costs decrease in the future as some expect them to (22) and if fuel costs continue to outpace inflation, WMA could become a net economic benefit based on reduced energy consumption alone.

Reduced Viscosity

Reduced mixture viscosity can be beneficial in several ways although the effect each WMA technology has on viscosity and the information available varies somewhat. In general, all WMA technologies should be able to produce the following benefits in some form:

- **Improved workability.** Lower viscosity usually results in better workability and a less sticky mixture. While this benefit is difficult to quantify, it is reasonable to assume that, all other

things being equal, improved workability can result in higher quality construction. Some reports indicate that at substantially reduced temperatures WMA has less workability (10,11,12,23).

- **More compaction per roller pass.** Because WMAs generally have lower viscosity, each roller pass provides more compaction, thus reducing the total number of roller passes needed to achieve a specified density.
- **Better workability and compaction of stiff mixes.** Stiff mixes, such as those incorporating highly modified binders or a large percentage of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), can be made easier to work and compact by the addition of WMA.
- **Better compaction at lower temperatures.** If compaction can be improved at lower temperatures (3,4,7 suggest it can), then HMA operations limited by mix cooldown and cessation temperature (the temperature below which a mix becomes stiff enough to resist further compaction regardless of the applied compactive effort) can be extended. Specifically, if better compaction per roller pass at lower temperatures can be achieved then cooler weather and its associated faster mix cooldown rates can be overcome to some degree with WMA.

Overall, viscosity reduction may provide the best business case for WMA technology implementation because it can reduce workability and compaction risks; risks that, if realized, carry costs that can far outweigh WMA costs.

RISK

There is a certain amount of risk associated with any new technology. With WMA they are:

- **Long-term performance.** WMA is relatively new; even the earliest test sections in Europe are about 10 years old (7,24). While generally good performance is claimed so far (7,8), substantial empirical evidence of surface lives equal to or longer than those for comparable HMA mixtures is needed to reduce this risk.
- **Uncertain use.** WMA technologies require some up-front investment. Without a commitment to use or specific contractual language, contractors may be unwilling to take on this additional investment risk and WMA use could stagnate at the current agency-sponsored trial stage.

The following sections present the two case studies mentioned earlier.

CASE STUDY: SURVEY OF ICELAND'S PAVING INDUSTRY

In 2006, a survey was conducted among ten professionals from various sectors of Iceland's paving industry in order to evaluate WMA's potential for market acceptance in a cold weather area. The paving industry in Iceland is relatively small, therefore, while the number of survey participants is relatively small, key producers, consultants and researchers were represented, making the results a fair representation of the overall market receptivity. The survey included a brief three page summary on WMA, however eight of the respondents were already familiar with WMA. This section summarizes the survey's main findings (for details see 25).

Nine out of ten mentioned weather conditions (cold, wet or changeable weather) as the cause for the most common paving problems in Iceland and four also mentioned it as a cause for the most costly problems. Issues such as long haul distances and lack of good aggregates were commonly mentioned.

WMA Benefits

Four respondents mentioned lower emissions as beneficial. One mentioned that environmental benefits would become more important in the future and using WMA for paving in tunnels was mentioned. One believed that environmental awareness was not high enough for WMA to be accepted.

Six respondents mentioned energy reduction as a WMA benefit. However, three respondents were doubtful of how beneficial it would really be in practice (e.g., one doubted that the reduced drying temperature will sufficiently dry the porous Icelandic aggregates).

Nine of the ten respondents mentioned viscosity reduction (e.g. as increased haul distances, better compaction) as a benefit either generally or particularly for Iceland. Eight of the respondents agreed that WMA could have a significant impact on problem areas in Icelandic paving. Other benefits gained by using WMA as a compaction aid were mentioned (e.g. placement at lower temperatures and a longer paving season). Three answers implied that paving is done nearly year-round already and therefore while WMA would not lengthen the paving season it might increase the quality and workability of the mix for winter paving projects. Because of frequent temperature oscillations around 0°C during the Icelandic winter and long periods of wet weather, good compaction is critical for acceptable pavement performance (in-place air voids must be below 3% according to specifications).

WMA Drawbacks

Seven respondents mentioned lack of information about quality and long-term performance as a drawback. Two were worried about aggregate stripping, and one brought up the possibility of insufficient aggregate drying. This indicates that people might be unwilling to lower production temperatures as much as WMA allows.

Five respondents mentioned cost-benefit concerns. In general, they indicated that WMA will only be an option if it costs the same as or less than regular HMA, unless (1) environmental regulations become stricter or (2) it provides some quality or construction benefit, then a moderate increase in cost would be acceptable.

Overall, this survey indicates that industry personnel generally view WMA technologies as useful if they make economic sense and current sentiment is that the most viable use would be to improve cool weather paving through reduced mixture viscosity. Eight of ten respondents were generally positive towards WMA and two were skeptical, but more skeptical towards Icelandic conditions and the industry's receptivity rather than towards WMA technologies directly.

CASE STUDY: HIGH RAP CONTENT MIX WITH SASOBIT IN MARYLAND

In 2005, the Maryland State Highway Administration (MDSHA) and the Federal Highway Administration conducted two demonstration projects using Sasobit WMA technology as a workability and compaction aid for mixes with high content of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). In each of these projects collected information does not meet the guidelines for demonstration projects set forth by the National Asphalt Pavement Association, however, the purpose of this case study is meant to show that (1) at least one agency is investigating WMA as a compaction aid for high RAP mixtures, and (2) such a use can be successful.

SR 28 in Montgomery County

This project involved patching and overlaying 11 km of two-lane road. It consisted of over 200 patches of variable depth and size followed by a 50 mm overlay of the entire project. HMA used on the project contained 25% RAP except during the demonstration which used HMA with 45% RAP and WMA with 45% RAP to pave patches.

An Astec Double Barrel plant was retrofitted with a fiber feeder to blow Sasobit into the HMA at a rate of 2.3 kg/min for a target HMA production rate of 225 tons/hr resulting in 1.5% by weight of asphalt binder.

SR 925 in Charles County

This project involved of overlaying 4 km of two-lane road. It consisted of a 12.5 mm leveling course (with 15% RAP) and a 25 mm surface course (with 35% RAP).

An Astec drum plant was retrofitted with a fiber feeder to blow Sasobit into the HMA at a target HMA production rate of 250 to 275 tons/hr to give 1.5% by weight of binder.

Laboratory testing. After laboratory testing for both projects, that included mixture stiffness, rutting resistance, fatigue cracking resistance, thermal cracking resistance, moisture sensitivity and aging, a report (26,27) concluded:

“...there is no adverse effect on pavement performance from the use of Sasobit as a compaction aid in high RAP content mixtures. ... Sasobit marginally increases the high temperature stiffness of the mixture, but has no effect on intermediate and low temperature stiffness. At this concentration, aging characteristics and the rutting, fatigue cracking, and thermal cracking resistance of the mixture are not significantly affected by the addition of Sasobit.”

Field Testing. For the SR 28 project, all compaction targets were met with a typical 40% reduction in the number of roller passes needed. For the SR 925 project, all compaction targets were met but the HMA required more compactive effort than the WMA.

Workability. Significant comments or observations for the SR 28 project were:

- One of the authors noted:
 - The control mixture was very difficult to shovel and nearly impossible to sample from the truck after loading despite a 166°C target production temperature.
 - The WMA was much easier to shovel, however it was still a little stiff.
 - The WMA was easier to sample at 154°C than the control mix was at 166°C.
- The WMA was easier to work with in the laboratory.
- The WMA mix was easier to use and less rolling was needed to achieve the specified density.

Significant comments or observations for the SR 925 project were:

- The MDSHA noted:
 - The HMA surface, placed at 157°C was tearing badly, necessitating a production temperature increase to 177°C.
 - The mat handled much better with the Sasobit added.
- The HMA was difficult to handle at the 154°C placement temperature.

Although these comments are subjective, they indicate a general sentiment that the WMA was less viscous and more workable than the HMA.

Financial Implications. In the SR 28 project, switching from 25% RAP to 45% RAP with WMA resulted in a net savings of \$4.55/ton. It seems that the financial benefits of high RAP mixtures with WMA as a workability and compaction aid can outweigh the cost of the WMA technology.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Several WMA technologies are gaining traction as evidenced by the increasing number of demonstration projects. These technologies are typically promoted on the basis of:

- **Lower emissions.** While benefits are well-documented, they are only likely to overcome WMA costs in high emission areas or in light of future stricter environmental regulations.
- **Reduced energy consumption.** While benefits are well-documented, the present cost of WMA per ton of mix is greater than the anticipated fuel savings except in areas of high energy costs like Hawaii and Iceland.
- **Reduced viscosity.** Reduced viscosity has the potential to reduce risk associated with cool weather paving and compacting stiff mixes as well as improve general compaction efficiency. Rough calculations also show WMA could allow contractors and agencies access to substantial savings associated with high RAP mixtures. Interviews in Iceland point to an industry receptiveness to this benefit and two demonstration projects in Maryland show the potential for practical application.

While lower emissions and reduced energy consumption are admirable benefits, by themselves they do not make a strong business case for WMA technology adoption. Reduced viscosity either by itself or in combination with other benefits seems to be the most likely avenue for widespread WMA technology adoption because they could allow owner agencies and contractors to (1) reduce compaction risks associated with cold weather, (2) reduce compaction equipment needed on the jobsite, and (3) lower the risk of poor compaction when working with stiff mixtures. The next steps to WMA adoption are:

- **Determine long-term performance.** Accelerated pavement testing could play a critical role.
- **Life cycle analysis.** A full life cycle analysis that accounts for long-term performance and the manufacture, storage and transport of WMA as well as mix production and construction would create a clear understanding of their overall benefit/cost to society.
- **A commitment to use by owner agencies.** Owner agencies rightfully treat new technologies with skepticism. If risks are limited and agencies desire to use WMA then a practical specification framework must be implemented.

REFERENCES

1. Koenders, B.G., D.A. Stoker, C. Bowen, P. de Groot, O. Larsen, D. Hardy & K.P. Wilms. *Innovative processes in asphalt production and application to obtain lower operating temperatures*. 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, Spain September 2000.
2. Aspha-min GmbH. Website for Aspha-Min®, Hanau, Germany, 2005. Accessed November 2005. www.asphamin.com
3. Hurley, G.C. and B.D. Prowell. *Evaluation of Aspha-min® zeolite for use in warm mix asphalt*. NCAT Report 05-04. National Center for Asphalt Technology, Auburn University, USA, June 2005.
4. Hurley, G.C. and B.D. Prowell. *Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt*. NCAT Report 05-06. National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Auburn, AL, June 2005.
5. Prowell, B.D. and G.C. Hurley. Starting to Warm. *Roads and Bridges*, volume 42, number 9, 2005.
6. de Groot, P.C., C. Bowen, B.G. Koenders, D.A. Stoker, O. Larsen, J. Johansen. *A comparison of emissions from hot mixture and warm asphalt mixture production*. IRF World Meeting, Paris, 2001.
7. Larsen, O.R., Ø. Moen, C. Robertus, B.G. Koenders. *WAM Foam asphalt production at lower operating temperatures as an environmental friendly alternative to HMA*. 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna, 2004.
8. Barthel, W., J.P. Marchand, M. Von Devivere. *Warm asphalt mixes by adding a synthetic zeolite*. Eurovia. www.asphamin.com. Accessed November 2005.
9. Naidoo, P. *Fischer-Tropsch Hard Wax Chemistry in "Warm Mix Asphalt" Applications*. Presentation document. Petersen Asphalt Research Conference. June 2005.
10. Davidson, J.K. *Evotherm Trial: Aurora, Ontario, August 8 2005*. McAsphalt Engineering Services, Research Centre, Toronto, ON, August 31, 2005. <http://www.meadwestvaco.com/asphalt.nsf/v/evothermnews?OpenDocument>
11. Davidson, J.K. *Evotherm Trial: City of Calgary, September 28 2005*. McAsphalt Engineering Services, Research Centre, Toronto, ON, January 9, 2006. <http://www.meadwestvaco.com/asphalt.nsf/v/evothermnews?OpenDocument>
12. Davidson, J.K. *Evotherm Trial: Ramara Township, Road 46 October 4,5 2005*. McAsphalt Engineering Services, Research Centre, Toronto, ON, December 12, 2005. <http://www.meadwestvaco.com/asphalt.nsf/v/evothermnews?OpenDocument>
13. According to electronic mail from Øyvind Moen, Kolo Veidekke, Norway. February 10, and January 19, 2006.
14. A Prowell and Hurley presentation accessible at: http://www.pavementpreservation.org/library/getfile.php?journal_id=735
15. According to phone conversation with Johathan MacIver, Business Development Manager, Asphalt Innovations, MeadWestvaco. July 28, 2006.
16. According to electronic mail from Barry McKeon, Technical Manager at Hubbard Construction Company in Orlando, Florida. February 6, 2006.

17. According to electronic mail from Matthias Nolting, Business Unit Manager, Sasol Wax. January 19, 2006.
18. Environmental Protection Agency (EPA). *The Plain English Guide to the Clean Air Act*. U.S. EPA, Washington, D.C., 2006. http://www.epa.gov/oar/oaqps/peg_caa/pegcaain.html
19. Environmental and Food Agency of Iceland. Agency website. <http://www.ust.is/RadgjofOgThjonusta/Mengunarvarnir/nr/1460>. Accessed January and July 2006.
20. Environmental and Food Agency of Iceland. Agency website. Yearly reports from Malbikunarstodin Hofdi, Malbikunarstod Akureyrar and Hladbaer-Colas, all accessible at http://www.ust.is/Mengunarvarnir/Graent_Bokhald/. Accessed July 2006.
21. Energy Information Administration (EIA). *Electric Power Monthly*. EIA, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., June, 2006. http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epm/epm_sum.html
22. McKenzie, P. Taking a Closer Look at Warm Mix. *Better Roads*, James Information Media, Des Plaines, IL, June 2006.
23. Michael, L.L. and Layman, L.R. *Missouri Department of Transportation and Pace Construction Warm Mix Demonstration Project*, St. Louis, Missouri, May 17-26, 2006. LLM Asphalt Technology Consulting, 2006.
24. *Sasobit: Roads and Trials with Sasobit*. Product information. Sasol Wax, Germany, 2004.
25. Kristjansdottir, O. *Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving*. Master's Thesis. University of Washington, Seattle, WA. 2006.
26. Advanced Asphalt Technologies. *Performance Evaluation of High RAP Base Mixture Containing Sasobit®*. Advanced Asphalt Technologies, LLC, Sterling, VA, August 2005.
27. Advanced Asphalt Technologies. *Performance Evaluation of High RAP Surface Mixture Containing Sasobit®*. Advanced Asphalt Technologies, LLC, Sterling, VA, December 2005.

6. FORSKNINGSPROJEKT SOM PRESENTERATS PÅ VIA NORDICA I HELSINKI 2008



Asfaltutskottets forsknings- och utvecklingspris 2008

Efter omröstning bland medlemmarna i förbundsutskottet utsågs Tuomas Vasama från Finland till 2008 års mottagare av Beläggningsutskottets forsknings- och utvecklingspris.

Asfaltslitasje og svevestøv i Norge – Karakterisering av støvpartiklers fysiske og kjemiske egenskaper

Dr.ing. avhandling Brynhild Snilsberg (2008:133)

Trafikkmengden er høy i store byer i Norge. Bruk av piggdekk og andre friksjonsforbedrende tiltak om vinteren medfører stor asfaltslitasje, som fører til en økning i mengde svevestøv i byer og tettsteder som ofte overskrider luftkvalitetskriteriet for uteluft. Dette utgjør en plage eller helserisiko for befolkningen som eksponeres for denne type forurensning. I følge krav satt av den Europeiske Union blir partikulært materiale målt og regulert gjennom massekonsentrasjon av partikler mindre enn 10 μm i diameter (PM10). Studier av helseeffekter relatert til eksponering for partikulært materiale viser imidlertid at partikkelegenskaper som morfologi og sammensetning er viktige for giftighet og for vurdering av risiko for utvikling av sykdom. Det ser ut til at sammenhengen mellom partikulær forurensning og helseeffekter er kompleks, og den kan ikke forklares ut ifra massekonsentrasjonen alene. Dette betyr at det er viktig å karakterisere vegstøvpartikler med hensyn på fysiske og kjemiske egenskaper. Karakterisering av vegstøvpartikler er viktig med tanke på å gi et grunnlag for bedre å forstå vegslitasjen og produksjon av vegstøv, og hvordan dette påvirker menneskers helse i urbane områder. Hovedmålsettingen med dette studiet var å karakterisere partikler generert fra vegslitasje kvalitativt og kvantitativt.

Fem artikler er inkludert i avhandlingen. Paper I og II presenterer feltmålinger av vegstøv som ble prøvetatt i vertikal retning rett ved en trafikkert veg i Trondheim, Norge. I Paper III ble forskjellige laboratoriemetoder brukt for å simulere vegslitasje og produsere vegstøv fra piggdekk. Paper IV og V beskriver hvordan tilslagets størrelse, kjørehastighet og type bildekk påvirker vegslitasjen og partikkelegenskapene.

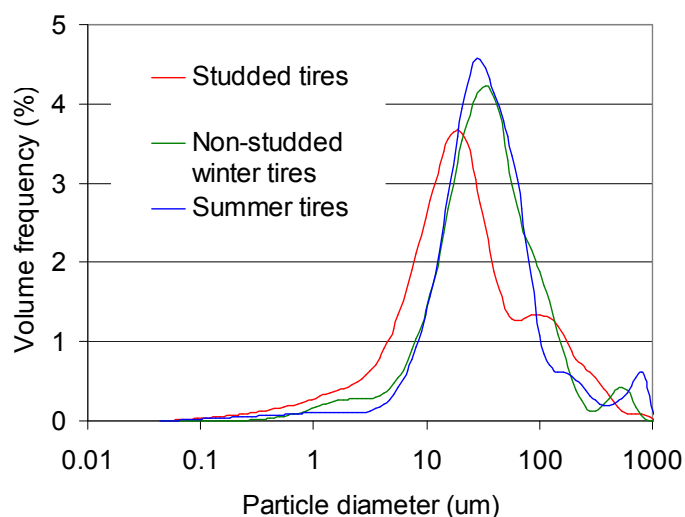
Hovedkonklusjonene fra studiet er:

Piggdekk brukt i vinterhalvåret i Norge er hovedårsaken til produksjon av støv fra vegslitasje. Hvis piggdekk ikke ble brukt, ville det være mye mindre svevestøv i urbane områder på grunn av vegslitasje. Piggdekk gir 30-40 ganger større mengde slitasjepartikler sammenlignet med piggfrie dekk i laboratorieforsøk. Vegstøvet består av nesten 90 vekt % mineralpartikler om vinteren, og ca. 50 % av partiklene har en størrelse mindre enn 25 μm (D50). Basert på alle prøver som ble undersøkt var D10 på 3 μm og D90 på 60 μm . Agglomerering av partiklene gir imidlertid en grovere partikkelstørrelsesfordeling enn det virkelig er. Piggdekk

gir støv med finere partikkelstørrelsesfordeling enn piggfrie dekk. Hovedandelen av partiklene kan beskrives som avrundete partikler, med gjennomsnittlig rundhet på rundt 0.6. Det spesifikke overflatearealet til prøven er avhengig av mengde organisk materiale til stede i prøven, samt partikkelstørrelsesfordelingen. Generelt sett har feltprøver høyere overflateareal enn prøver produsert i laboratoriet på grunn av høyere organisk innhold. Men for prøver hvor partiklene har høy nedmalingsgrad, kan prøver produsert i laboratoriet gi høyere spesifikk overflate på grunn av finere partikkelstørrelsesfordeling.

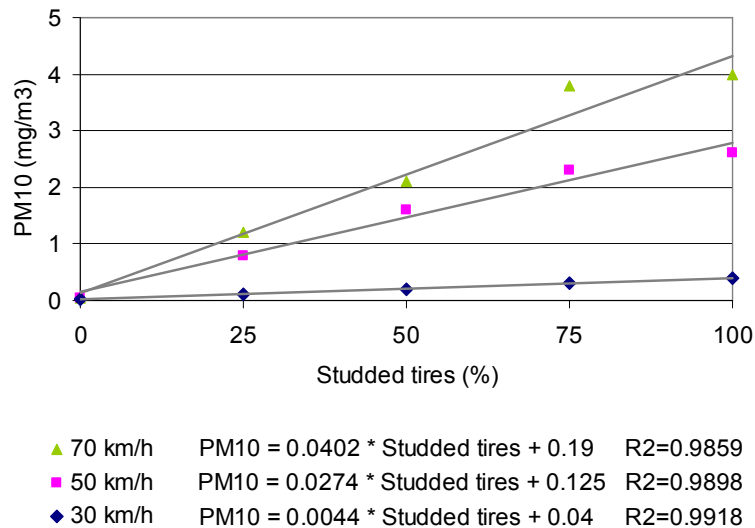
Tabell 1. Mengde støv som funksjon av bildekktype

Tire type	TSP (gram/h)	PM10 (%)	PM2.5 (%)	PM0.1 (%)	Inorganic content (%)
Studded tires	92.7	29	7.6	0.14	89.5
Non-studded winter tires	2.3	13	3.5	0	85.5
Summer tires	3.0	10	7.8	0.11	73.4

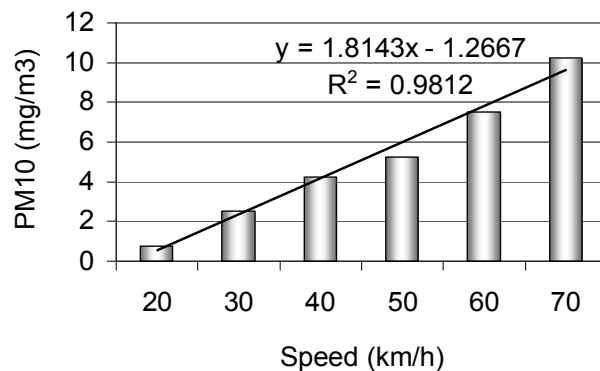


Figur 1. Partikkelstørrelsesfordeling som funksjon av bildekktype

Andre faktorer som påvirker produksjon av slitasjepartikler er kjørehastighet og type steinmateriale brukt i asfalten. Testresultater viser at PM10 konsentrasjonen målt under laboratorieforhold går ned med 32-49 % når hastigheten reduseres fra 70 til 50 km/h, 52-83 % når hastigheten reduseres fra 50 til 30 km/h, og 76-89 % når hastigheten reduseres fra 70 til 30 km/h. Kjørehastigheten påvirker også fordelingen til partikkelstørrelsen og partikkelformen. Steinmaterialet i asfalten påvirker mengde støv generert, partikkelstørrelsesfordelingen, partikkelformen og det spesifikke overflatearealet. Totalmengde støv (TSP) og PM10 kan være veldig forskjellige; høy TSP medfører ikke nødvendigvis høy PM10 konsentrasjon og omvendt.



Figur 2. PM10 som en funksjon av piggdekandel og forskjellige hastigheter for Ska 11

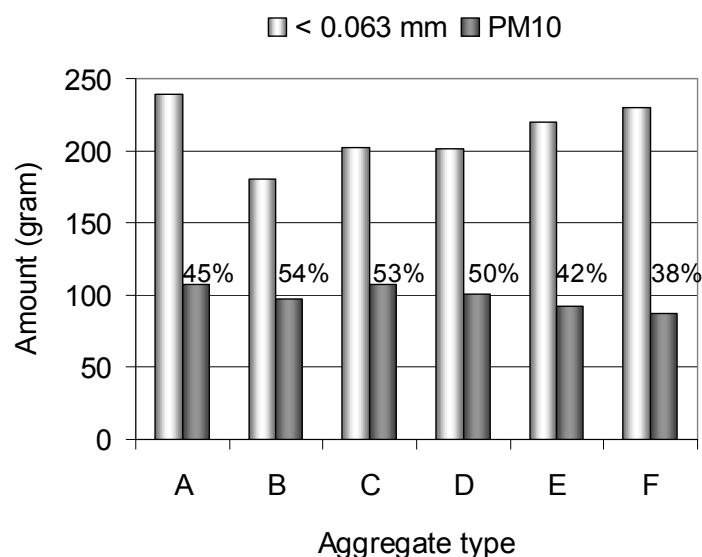


Figur 3. PM10 konsentrasjon (mg/m^3) som funksjon av kjørehastighet (km/h) for Ska 8, 100 % piggdekk

Metoder brukt for å studere asfaltslitasje og støvproduksjon i laboratoriet viser at det er mulig å generere støv sammenlignbart med støv generert fra piggdekk ved bruk av enkle laboratorium metoder. Dette er viktig med tanke på kostnader forbundet med bygging av kostbare teststrekninger i felt for å generere og karakterisere støv fra vegslitasje. Småskala slitasjetesting av asfalt i laboratoriet, Prall og Tröger, er metodene som er best egnet til å produsere støv sammenlignet med Pavement testing machine (PTM). Man kan også teste steinmaterialet alene og få noenlunde gode prøver av støv fra piggdekk. Blant steinmaterialtestene er det Los Angeles (LA) metoden som best kan sammenlignes med PTM. Støv produsert med Tröger og Prall er mer sammenlignbart med støv generert i felt siden støvet er produsert fra en asfaltmasse, mens støv produsert med LA, kulemølle (KM) og

micro-Deval (MD) bare er fra steinmaterialet. Ingen av disse metodene inkluderer effekten av et bildekk.

Resultatene viser at foruten bruk av piggdekk er steinmaterialet som brukes i asfalten av største viktighet for støvet som genereres. Det er derfor viktig å velge steinmateriale med omhu når det skal brukes til vegdekke i urbane strøk. Steinmaterialet påvirker både mengde støv generert og egenskaper til partiklene. Dagens kunnskap viser at jo finere partiklene er, jo høyere er den potensielle helserisikoen. Siden kjørehastigheten påvirker både mengde støv generert og partikkelstørrelsesfordelingen, bør man vurdere redusert kjørehastighet i urbane områder vinterstid for å redusere de potensielle farlige effektene av vegstøv. Dette må balanseres med andre trafikale effekter, som for eksempel kødannelse og trafikkflyt.



Figur 4. Mengde finstoff < 0.063 mm og andel PM10 generert fra forskjellige bergartstyper (gram) med kulemølle

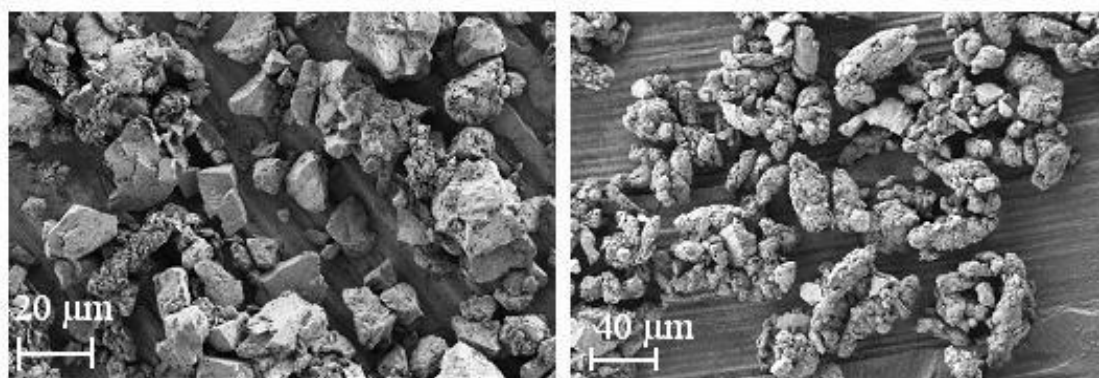
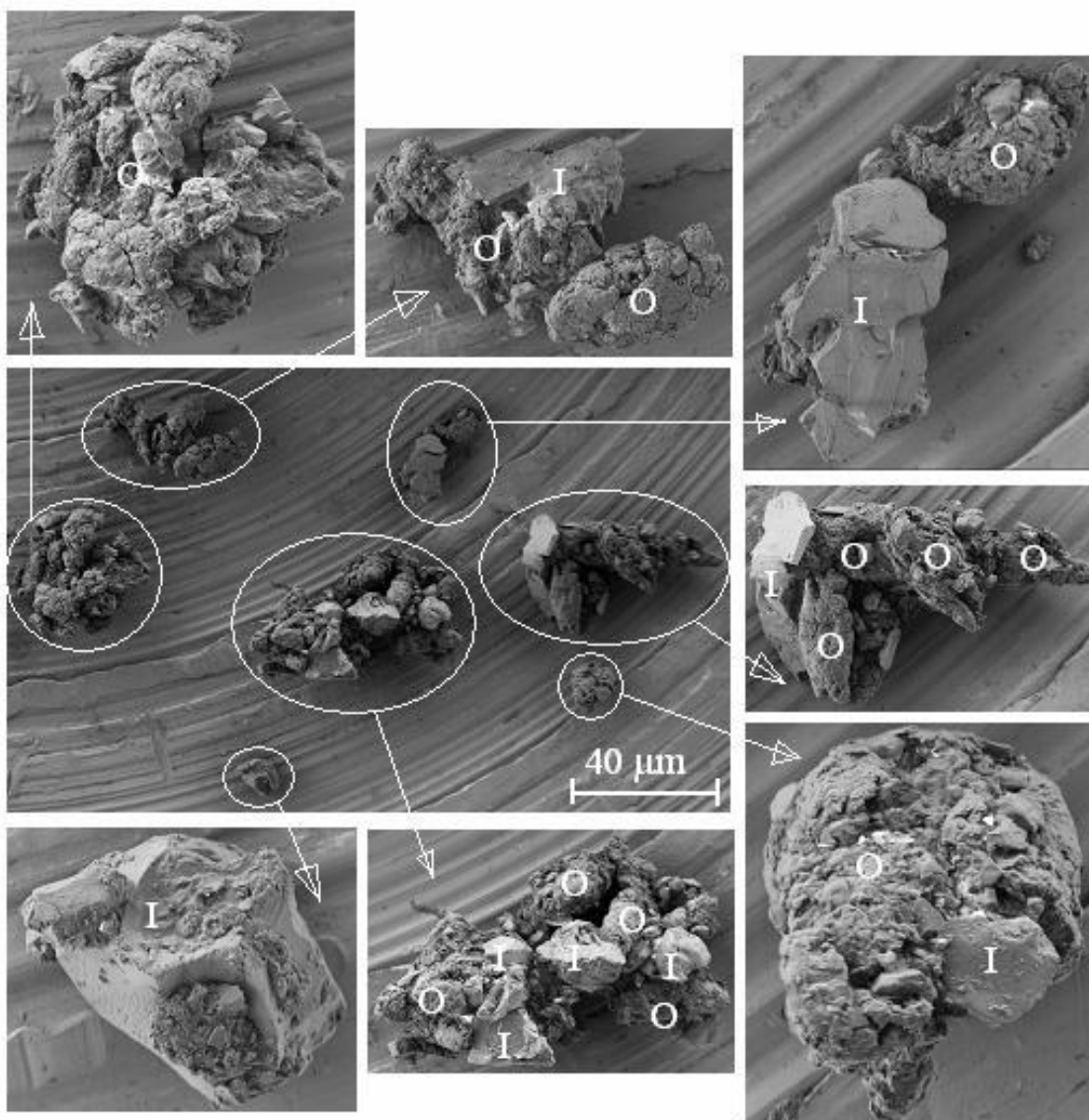


Figure 5. SEM bilder av støvpartikler generert av piggdekk (venstre) og sommerdekk (høyre)



Figur 6. SEM bilder av piggdekkstøv



Figur 7. SEM bilder av støv generert av sommerdekk

Förbättring av beläggningsarbetens produktionsstyrning med hjälp av Lean-tänkande och automation

Bakgrund

Asfaltindustrin kämpar med många utmaningar just nu. Beställarna förnyar sina sätt att göra upphandlingar, oljepriset stiger, bristen på arbetskraft blir större varje år och klimatförändringen sätter nya krav på beläggningar och kunskap. Dessutom är marknaden trång, bara för några entreprenörer har verksamheten varit lönsam. De nya kraven tvingar entreprenören till kompetensutveckling, vilket betyder satsning på teknologi-, process- och kunskapsutveckling.

Dålig produktivitet nämns ofta vid diskussion om industrins lönsamhet. Hela infrabyggbranschens produktivitet har inte utvecklats på samma sätt som i andra industribranscher. Väldigt innovativa metoder, såsom laserscanning och georadar, används för att skaffa bakgrundsinformation. I Norden har man också utvecklat väldigt sofistikerade designprogramvaror. Vägmätningssbilarna kör tusentals mil varje år för att man skall få en realistisk bild på vägnätets skick. Så det är klart att produktiviteten har ökat enormt på design och underhåll. Själva byggandet har ändå inte genomgått stora förändringar. Byggnadskostnaderna är en så stor del av livscykelkostnaderna, att förbättringarna i design och underhåll ofta inte märks.

Redan på nittiotalet började man tänka på vad byggnadsindustrin skulle kunna lära sig av produktionsindustrin. Tidigare har man tänkt att byggnadsprojekt är så annorlunda än produktionsindustrins processer, att samma regler inte gäller. Inom produktionsindustrin är Toyota Motor Corporations produktionssystem väldigt effektivt – produktiviteten, lönsamheten och kvaliteten är toppklass enligt statistiken. Produktionssystemen, som också kallas Lean-tänkande, är väldigt täckande och kan anpassas för olika processer.

Processen ligger i Lean-tänkandets kärna. Tanken är, att man måste veta exakt hur processen fungerar, före man kan planera förbättringar. Därför har man tagit fram enkla mätare för olika skeden i processen. Utvecklingen börjar från gräsrotsnivån, det ordnas möten för alla arbetare, där förbättringsförslag tas emot. Vanliga arbetare anses vara de bästa experterna på processen.

Typiskt för beläggningspersonal har varit, att man jobbar länge inom samma bransch. Därför är också produktionsstyrningen mycket empirisk. Personalens kunnighet avgör entreprenörens kompetens. Det finns ett behov att utveckla stödsystem för personalen, som blir mer oerfaren när bristen på arbetskraft blir större och större.

Målet med undersökningen var att utreda möjligheterna att utnyttja Lean-tänkandets principer för att få en djupare förståelse av beläggningsprocessen. Undersökningen strävade till att hitta enkla nyckeltal för produktionsstyrningen.

Automation har förändrat produktionsindustrins processer totalt. Maskinautomation (Hard Robotics) är också en stor del av beläggningsarbetena i dag. ICT-teknologin gör det möjligt att samla information om processen, vilket annars skulle vara omöjligt. Informationen kan användas i produktionsstyrning för att producera nyckeltal om processen. På det sättet öppnar Lean-tänkande och automation tillsammans nya möjligheter för förbättringar.

Metoder

Materialet samlades in med hjälp av olika metoder: intervjuer, litteratursökning och fältprov. Intervjuernas avsikt var att kartlägga det mycket empiriska sätt på vilket produktionsstyrning görs i beläggningsarbeten. Man har insett att det är viktigt att kunna ta del av den "tysta kunskap", som den erfarna personalen har. Därför har man börjat undersökningen med intervjuer. Litteratursökningen strävade till att finna bakgrundsinformation om olika beläggningar, Lean-tänkandet och sätt att utnyttja automatisering i produktionsstyrningen. Beläggningarnas tekniska egenskaper ställer krav och gränser för produktionsstyrningen. T.ex. kontroll av temperaturen är speciellt viktig och man ville ta med den som en forskningsparameter. Med fältprov utreddes vilka parametrar, som är de viktigaste att följa, för att produktionsstyrningen skall vara effektiv. Fältprov gjordes på tre av Destias (Vägaffärsverket) mobila varmasfaltverk. Totalt nio arbetsskift på asfaltverken och deras arbetsplats undersöktes.

Resultat

Beläggingsprocessen delades i delprocesser enligt Lean-tänkandets principer. Det visade sig, att beläggingsprocessen liknar mycket produktionsindustrins processer. Man kan bestämma kapacitet för varje delprocess och hitta nyckeltal för dem. Det som skiljer beläggingsprocessen från produktionsindustrin är det oförutsebara vädret och varierande distanser mellan delprocesserna.

Parametrar som mättes på arbetsplatserna var:

- transportfordonens ankomst-, avlastnings- och avgångstider
- laststorlekar
- avlastningsplatser med GPS
- stickprovmätning av asfaltmassans temperatur med värmekamera

Parametrar som mättes på asfaltverket var:

- transportfordonens ankomst-, lastnings- och avgångstider
- stickprovmätning av asfaltmassans temperatur

Nyckeltal, som kalkylerades från varje arbetsskifts parametrar, var:

- transportfordonens kumulativa väntetid på platsen (min)
- transportfordonens kumulativa väntetid på verken (min)
- utläggarens kumulativa väntetid (min)
- beläggingsarbetens kumulativa produktionseffekt (t/h)
- asfaltverkets kumulativa produktionseffekt och väntetid
- transportfordonens genomsnittliga transportcykel och fördelningen inom den

Målsättningen var att nyckeltalen presenterades så, att hela personalen kunde utnyttja dem i sitt arbete. För detta är en visuell presentation bra. I bilden nedanför visas ett exempel på ett arbetsskift, presenterad med ovan nämnda nyckeltal. Märkbart för detta arbetsskift är hur stor betydelse bara en transportbil kan ha i transportkedjan. Totalt sex bilar var med i transportkedjan och avståndet var ungefär 33 kilometer. Bilen nummer sex

hade lite större lastkapacitet än de andra bilarna, så det tog längre att lasta, lasta ur och även köra. Om transportbilen inte hinner i tid till ett mobil verk, orsakar den en minst 15 minuters paus också i utlägningsändan.

När man vet hur mycket det kostar om utläggaren står, eller om en extra bil kör i transportkedjan, är det lätt att kalkylera hur mycket man kunde spara med bättre produktionsstyrning.

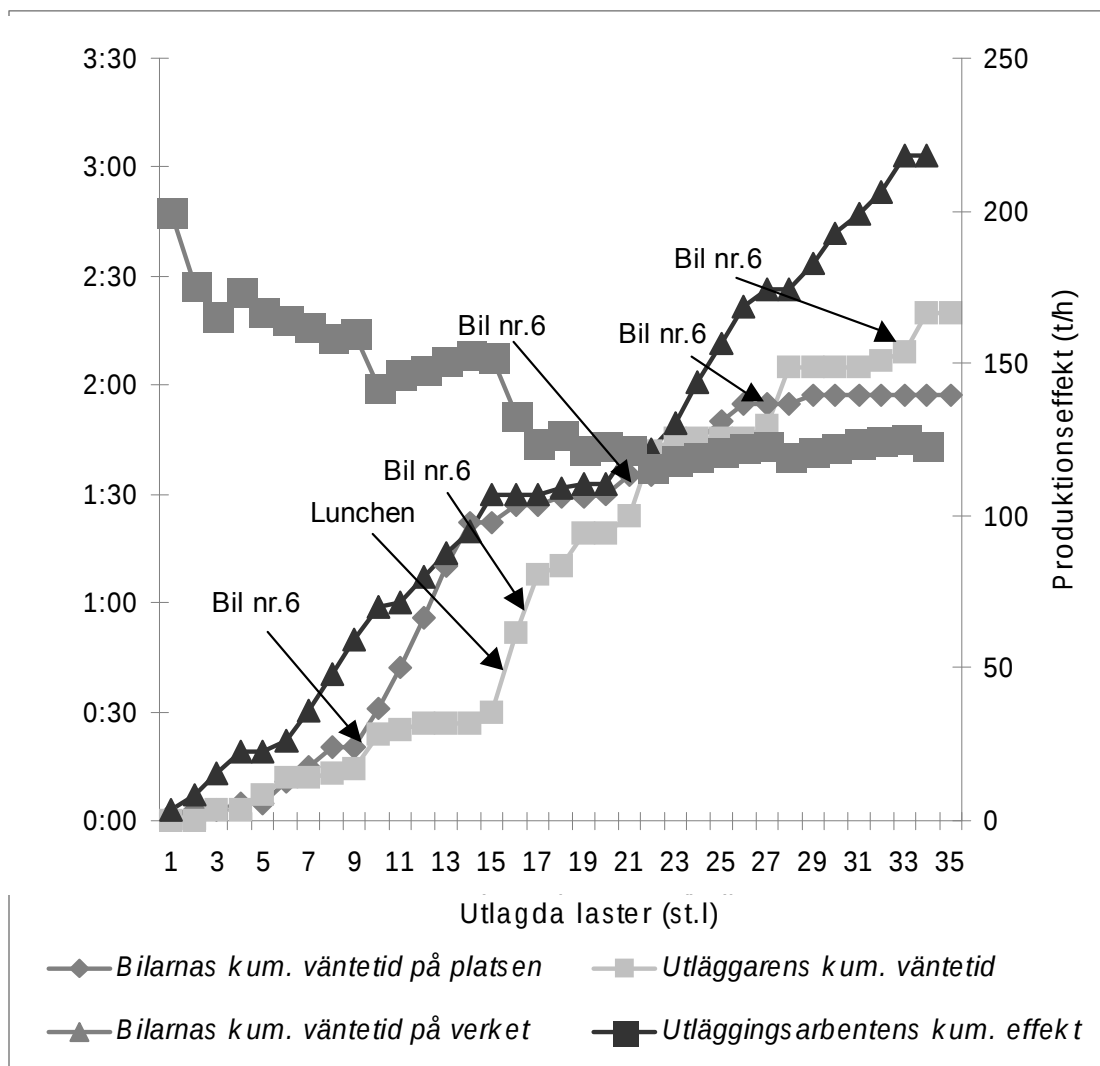


Bild 1 En belägningsarbetsskift presenterad med nyckeltal för produktionsstyrningen

Slutsatser

Undersökningen visar att beläggningsarbetens produktionsstyrning behöver nya verktyg. Nuförtiden har individuella kunskaper för stor betydelse i styrningen. Det behövs ett produktionssystem, som standardiserar handlingssätt, och möjliggör ett effektivare system att lansera dem hos personalen på olika asfaltverk och i arbetsgrupperna.

Ett förslag till utveckling är att införa veckomöten på arbetsplatserna. På dem kunde utläggningspersonalen gå igenom utförda och kommande arbeten samt se över målsättningen och hur målen förverkligats. Som mätare för produktionen rekommenderas ovan nämnda nyckeltal samt uppföljning av produktionsstörningar och synkronisering av olika delprocesser. Målsättningen borde basera sig på arbetets tidsschema, så att det skulle vara klart för alla varför produktionseffektivitet är viktigt

Den information, som behövs för att beräkna nyckeltalen, borde samlas in automatiskt. Personalen har inga resurser till det och alla tekniska färdigheter existerar. Samma system möjliggör också automatisering av projektuppföljningen samt faktureringen. Efter det har ansvarig personal även tid att koncentrera sig på bättre produktionsstyrning.

Nordic asphalt technology research competition

EFFECT OF FILLER TYPE ON MOISTURE SENSITIVITY OF ASPHALT

Sigurveig Árnadóttir

Innovation Center

Iceland

E-mail: sigurveig.a@nmi.is

Introduction

Moisture is one of the common environmental factors that profoundly affect the durability of asphalt concrete pavements. Moisture can degrade the bond between aggregate and asphalt cement and lead to damage which is signified by loss of strength and durability of the asphalt pavement and can easily be followed by premature failure of the pavement structure like rutting, raveling and cracking /1/. Moisture damage is typically more severe in areas where precipitation is considerably high and traffic load is heavy. Multiple freeze/thaw cycles and abrasion by studded tires is likely to increase the suffering.

Moisture damage in asphalt mixture can be estimated by the loss of mechanical strength /2/ and has been recognized to be dependent mainly on the aggregate characteristics and asphalt concrete mixture properties in terms of permeability, air voids, and asphalt film thickness /3/. This paper examines the effect of filler type on the water sensitivity of the mixture.

Aggregate and fillers

The coarse aggregate ($>0,063$ mm) used in this study is crushed basaltic rock obtained from the quarry Seljadalur in western Iceland. This material is widely used in Reykjavík for asphalt mixtures. The aggregate was washed, dried and sieved. The aggregate fractions were then recombined in the proper proportions to meet the chosen gradation curve, which is shown in red colour in Figure 1. The curve falls within the limits of the standard AC 11 curve described in EN 13108-1 /4/, although the content of fines is considerably high.

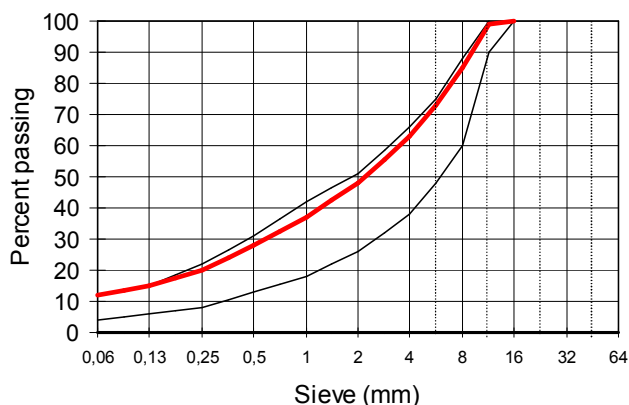


Figure 1: Aggregate gradation curve.

The filler, as defined in this study, is the material passing the 0,063 mm sieve. Ten different filler types were selected for this study. Five of the fillers used were basalts from different quarries in western Iceland, some of which contain considerable amounts of clay. Three of the fillers (Björgun 1, Björgun 2 and Hólabrú) were obtained from asphalt plants in Reykjavík. Additionally, Portland cement and limestone dust were tested as fillers in this study. The location of the quarries is shown in Figure 2.

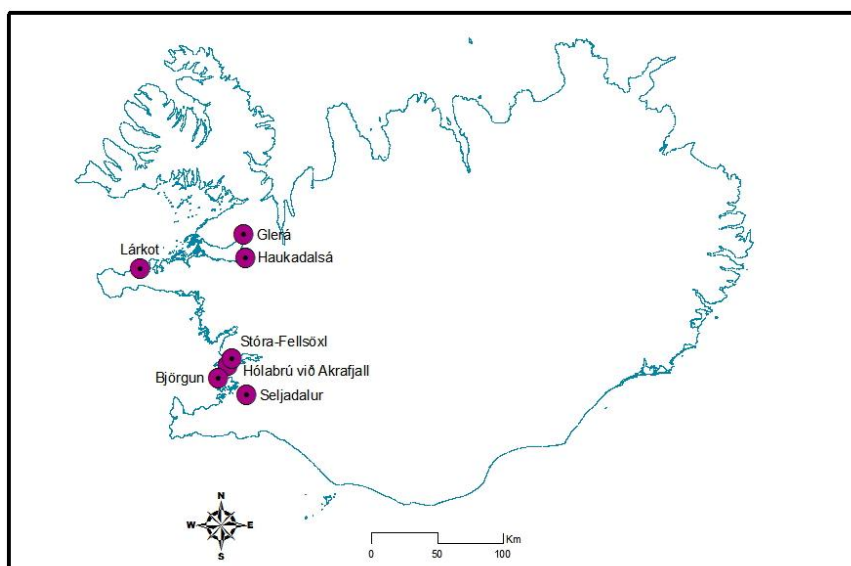


Figure 2: Location of quarries.

Characterization of the fillers

Grain size analysis for the fillers was conducted by laser diffraction, using a Sympatec particle size analyzer. Table 1 gives some gradation parameters and Figure 3 shows curves for grain size analysis. It is notable that the cement, lime and Björgun 2 fillers are considerably finer than the others.

Table 1: Filler gradation:

Filler Type	Gradation, percent smaller than (μm)													D50 (μm)	D30 (μm)
	1,8	2,6	3,6	5,2	7,4	10	15	21	30	42	60	86	122		
Glerá	7,7	12,0	16,9	23,9	32,1	40,3	52,3	62,7	73,8	83,9	92,7	98,1	100,0	14,0	6,8
Haukadalsá	9,3	14,1	19,1	25,6	32,8	40,0	51,6	62,5	74,3	84,9	94,4	99,1	100,0	14,3	6,5
Hólabrú	8,3	12,5	17,0	23,2	30,4	38,1	50,7	62,8	76,1	87,5	96,2	99,6	100,0	14,7	7,3
Björgun 1	10,1	15,0	19,9	26,0	32,4	38,7	48,5	58,0	69,1	80,5	92,1	98,7	100,0	15,9	6,5
Björgun 2	13,3	19,8	26,4	34,7	43,7	52,5	66,2	77,8	88,4	95,6	99,3	99,8	100,0	9,2	4,3
Lárkot	7,0	10,7	14,9	20,6	27,5	34,6	46,1	57,0	69,4	81,4	92,4	98,2	99,6	17,0	8,3
Seljadalur	7,4	11,1	15,0	20,1	25,9	32,0	42,5	53,4	67,0	80,8	93,4	99,3	100,0	19,0	9,1
Stóra Fellsöxl	8,6	13,2	18,2	25,0	32,9	40,7	52,6	63,1	74,0	83,9	93,6	99,1	100,0	13,8	6,6
Portland Cement	15,1	22,3	29,1	36,9	44,3	51,1	61,9	72,9	85,0	93,8	98,3	99,5	100,0	9,6	3,8
Lime	17,6	25,5	32,3	39,6	47,0	53,6	62,1	70,6	80,6	90,3	97,8	100,0	100,0	8,5	3,2

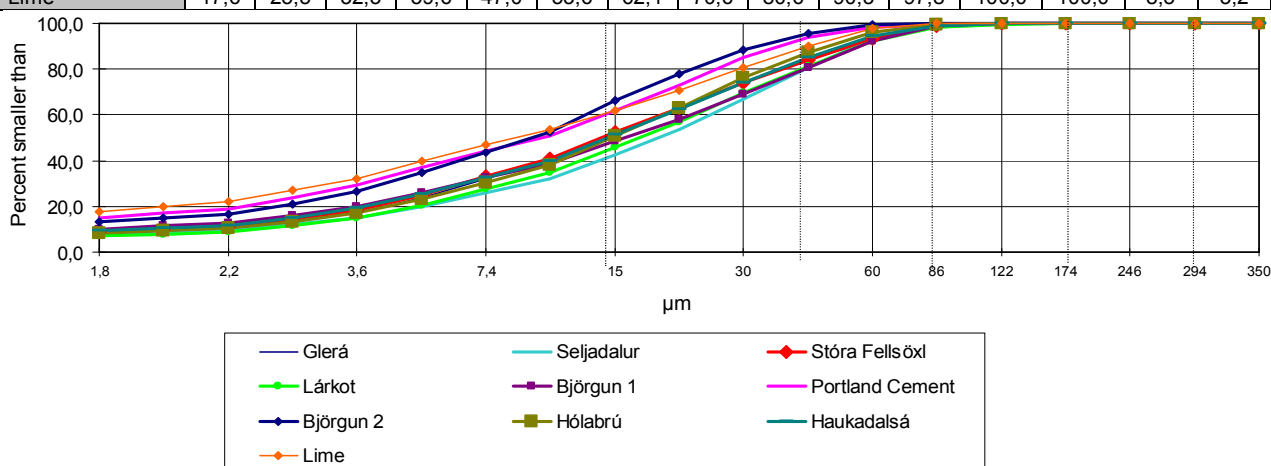


Figure 3: Filler gradation curves.

The results of other observations made on the fillers are listed in Table 2. Clay minerals in the filler material were identified by X-ray diffraction (XRD) analysis. Specimens for the analysis were prepared by dispersing the clays in ultrasonic bath and then allowing the clay suspensions to

evaporate slowly to form oriented clay samples on flat glass slides. As expected for basaltic rocks, all specimens in which clay was identified, contained the same clay mineral; montmorillonite.

Table 2: Filler properties:

Filler Type	Clay type in specimen	Methylene Blue (mMol/g)	Calculated * clay percent	Loss on ignition at 400°C (%)	Moisture content (%)	Total water content (%) [†]
Glerá	Montmorillonite	0,065	7,064	2,401	1,069	3,470
Haukadalsá	Montmorillonite	0,050	5,390	2,106	0,473	2,579
Hólabrú	Montmorillonite	0,036	3,801	0,313	0,231	0,543
Björgun 1	No clay	0,034	3,628	0,335	0,379	0,715
Björgun 2	No clay	0,034	3,616	0,341	0,512	0,854
Lárkot	Montmorillonite	0,105	11,458	2,822	1,046	3,868
Seljadalur	Montmorillonite	0,041	4,393	0,363	0,715	1,078
Stóra Fellsöxl	Montmorillonite	0,055	5,955	2,154	1,128	3,283

The total amount of montmorillonite in the fillers was estimated based on absorption of methylene blue from aqueous solutions. The mixtures of filler samples and methylene blue were left overnight to assure the absorption equilibrium. The following day, the clay coagulated suspensions were centrifuged and the supernatant liquid, which contained the remaining methylene blue, was then diluted to proper concentration for measurements on a spectrophotometer at wavelength of 665 nm. The quantity of absorbed methylene blue was determined based on the difference in absorbance of samples and a blank solution. Measurements were also conducted on some standard unaltered rock samples that gave base value of 0,001481 mMol/g.

Moisture content and loss on ignition were also measured. The fillers were first weighed at room temperature and then dried at 110°C for one hour, then cooled to room temperature in a desiccator and weighed. The fillers were then heated at 400°C, again cooled in a desiccator and weighed. The moisture content and loss on ignition were listed as a percent of the weight at 110°C.

Preparation of Asphalt Concrete specimens

The mix proportions and aggregate gradation for the asphalt mixtures tested are shown in Table 3. Bitumen of 160/220 penetration grade was used. The coarse (>0,063 mm) aggregate used was crushed basaltic rock from Seljadalur in Iceland but the filler type (<0,063 mm) was variable.

Table 3: Asphalt concrete proportions and aggregate gradation:

Aggregate gradation:	
Sieve	% passing
0,063 mm (filler)	12
2 mm	48
4 mm	63
8 mm	85
11,2 mm	100
Mix proportions:	
Coarse aggregate (%mass)	83
Filler (%mass)	11
Bitumen (%mass)	6
Air voids (%vol)	6

The asphalt specimens were prepared according to the European standard EN 12697-31 /6/, “Specimen preparation – gyratory compactor.” Eight asphalt specimens were prepared for each filler type. The aggregate-filler blends were heated in an oven overnight to 150-160°C before mixing. A temperature of 130-150°C was used for mixing and compacting. The aggregate-filler blend was placed in a heated mixing bowl and the preheated asphalt binder added. The blend was then mixed by hand for 2-3 minutes until a uniform coating was observed. The samples were then compacted in a Gyratory Compactor to achieve 6% air voids and a density of 2476 kg/m³. Table 4 shows the number of cycles needed to compact each sample to the required density. It shows that

* Calculated according to /5/.

† Summary of moisture content and loss on ignition at 400°C.

mixes containing cement fillers, lime fillers, and the fillers currently used in Iceland, reached the required density most easily, and mixes containing Lárkot filler and Glerá filler needed much more work to reach the same density. Figure 4 shows density as a function of the number of cycles. It strongly implies that the filler significantly affects the workability of the asphalt concrete mix.

Table 4: Number of cycles needed to compact the samples to achieve a density of 2476 kg/m³:

Filler type	Cycles
Glerá	320
Haukadalsá	160
Hólabrú	100
Björgun 1	100
Björgun 2	80
Lárkot	320
Seljadalur	200
Stóra Fellsöxl	200
Portland Cement	50
Lime	64

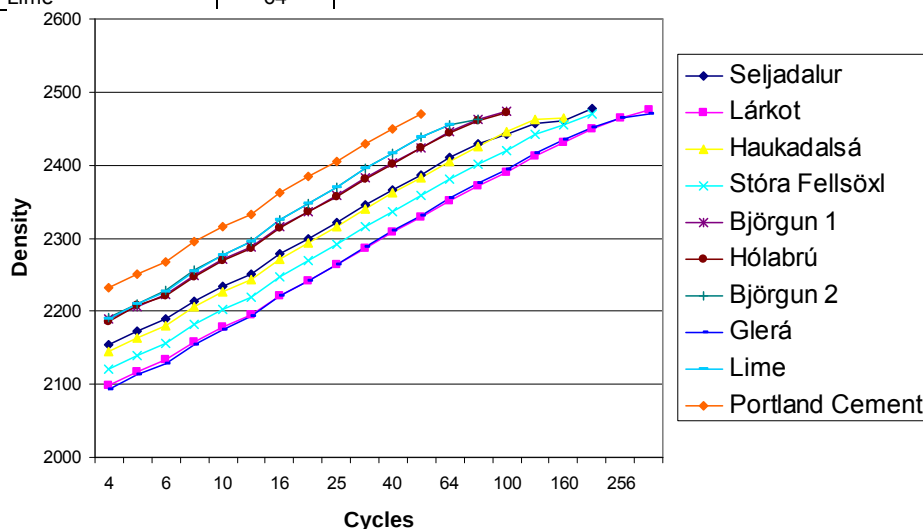


Figure 4: Density as a function of cycles.

Water sensitivity test of Hot Mix Asphalt Concrete

Compacted mixes in each set were divided into two groups; one for dry testing and the other for water saturated testing. The specimens were conditioned according to the European standard EN 12697-12 /7/, “Determination of the water sensitivity of bituminous specimens.” Mechanical properties of the prepared asphalt specimens were evaluated using Indirect Tensile Strength test according to EN 12697-23 /8/, “Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens.”

Results of the water sensitivity tests are shown in Table 5, i.e. indirect tensile strength of dry samples and wet samples, and the ratio between these strengths.

Table 5: Water sensitivity test results:

Filler type in asphalt specimen	ITS dry (kPa)	ITS wet (kPa)	ITSR (%)
Glerá	776	695	90
Haukadalsá	701	658	94
Hólabrú	659	595	90
Björgun 1	682	569	83
Björgun 2	634	538	85
Lárkot	856	750	88
Seljadalur	769	692	90
Stóra Fellsöxl	798	714	89
Portland Cement	575	550	96
Lime	626	559	89

Figure 5a shows the results of the Indirect Tensile Strength tests of wet and dry samples. The water sensitivity values (ITSR), which are the ratios between wet and dry indirect tensile strengths, are shown in Figure 5b.

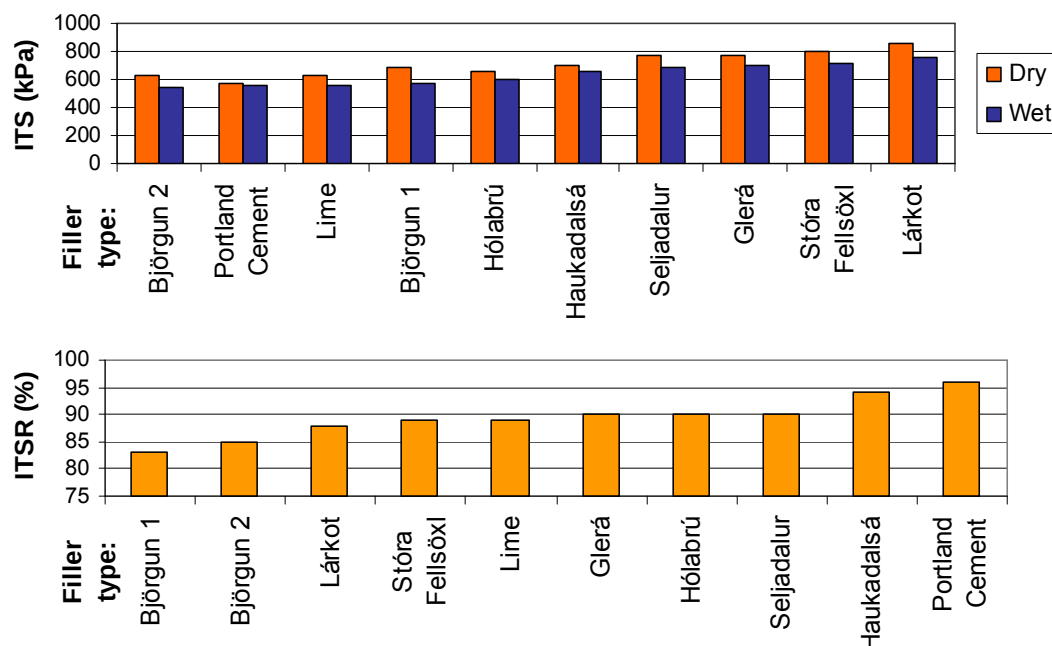


Figure 5a: Indirect tensile strength for wet and dry samples.

Figure 5b: Water sensitivity of the asphalt concrete mixes.

It is notable that mixes containing Portland cement filler showed the most water resistance (highest ratio) and those containing the Björgun fillers showed the least. On the other hand, dry mixes containing Portland cement showed the least indirect tensile strength and the wet mixes showed the second least, while the mixes with low water resistance showed considerably high indirect tensile strength.

Data analysis

It was noted that mixes containing fillers of altered basalt origin with montmorillonite had poor workability compared with the rest of the mixes. In Figure 6a, the number of cycles needed to compact the samples to the required density is shown as a function of methylene blue value. It shows that more amount of montmorillonite in the filler gives mixes with less workability.

Figure 6b shows a strong correlation between the loss on ignition at 400°C and the methylene blue value. This implies that the loss on ignition gives a good idea of the amount of montmorillonite in the samples.

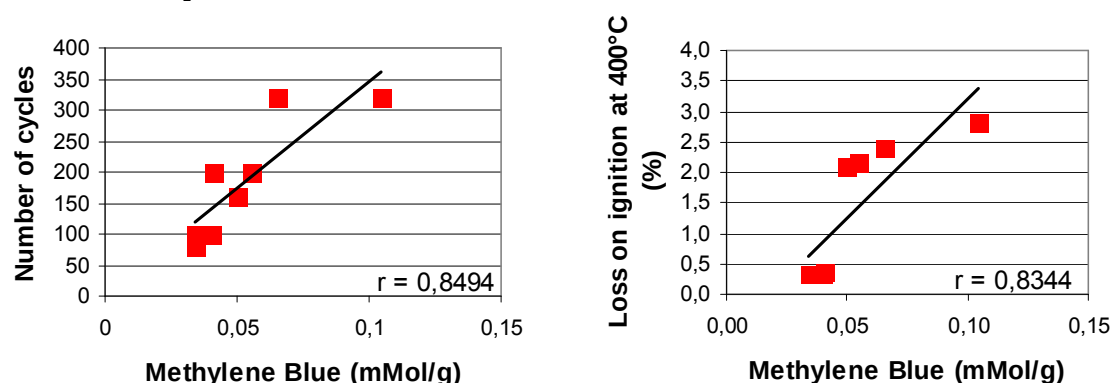


Figure 6a: Number of cycles, needed to compact the asphalt concrete specimens, as a function of methylene blue value.

Figure 6b: Loss on ignition as a function of methylene blue value.

In Figure 7a, the number of cycles needed to compact the samples is shown as a function of percent of filler smaller than 1,8 μm . It is observed in this figure that samples, in which larger pro-

portion of the filler is smaller than 1,8 μm , compact more easily than others. This raises the question of whether there is a relationship between the amount of clay minerals and the amount of the clay grain size. Figure 7b shows that the samples tend to have lower methylene blue value when larger proportions are smaller than 1,8 μm . This correlation, however, is not statistically significant /9/.

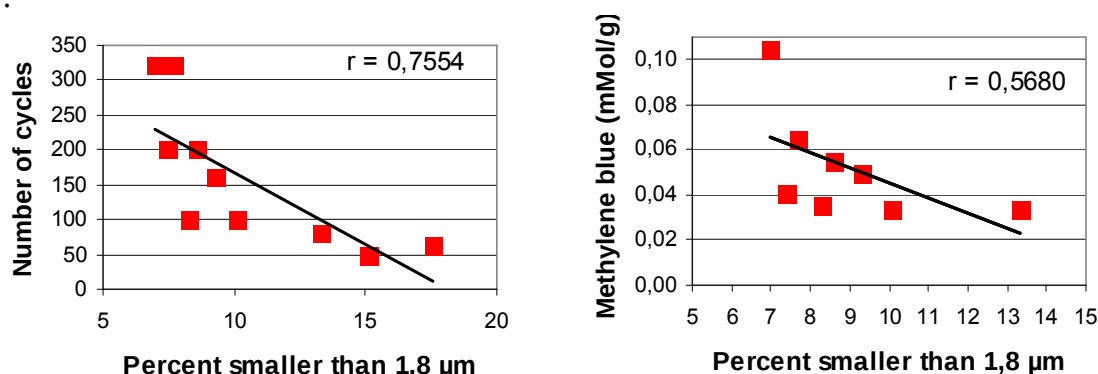
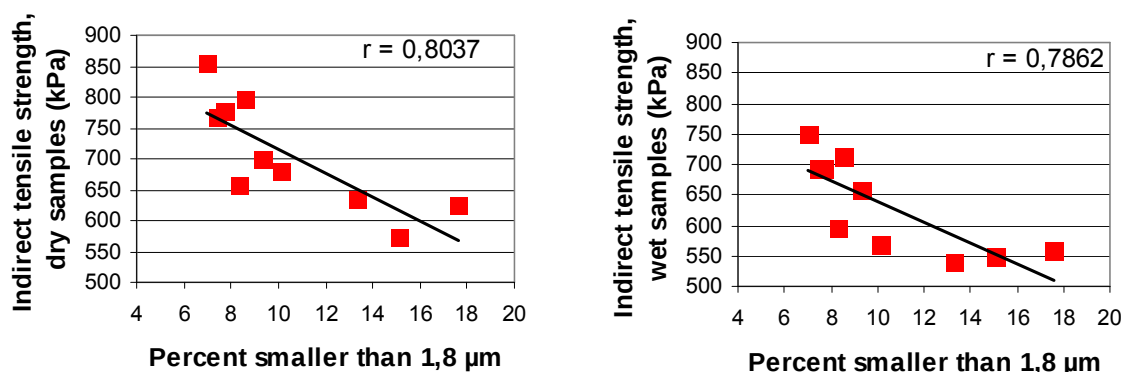


Figure 7a: Number of cycles needed to compact asphalt concrete mixes as a function of percent of filler smaller than 1,8 μm .

Figure 7b: Methylene blue value as a function of percent smaller than 1,8 μm .

Figure 8a and 8b show the indirect tensile strength of wet and dry samples as a function of percent of filler smaller than 1,8 μm . According to these plots, when larger proportions of the filler are smaller than 1,8 μm , the asphalt concrete samples are weaker



Figures 8a and 8b: Indirect tensile strength of dry and wet asphalt concrete samples as a function of percent of filler smaller than 1,8 μm .

Figures 9a and 9b show indirect tensile strength of wet and dry asphalt concrete mixes as a function of the filler's loss on ignition at 400°C, and figures 10a and 10b show indirect tensile strength as a function of methylene blue value. According to these plots, it seems possible that alteration in the form of montmorillonite can increase the indirect tensile strength.

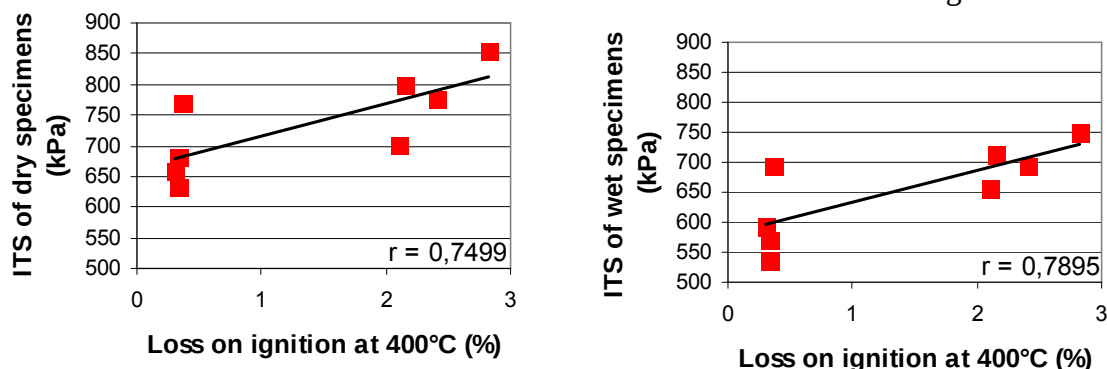
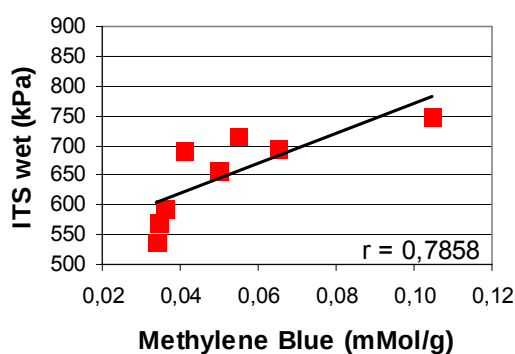
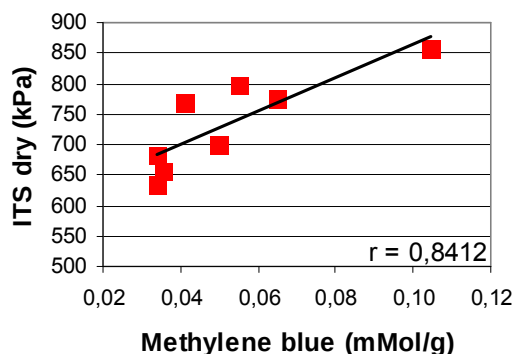
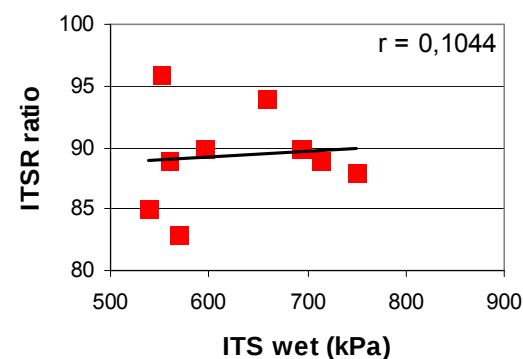
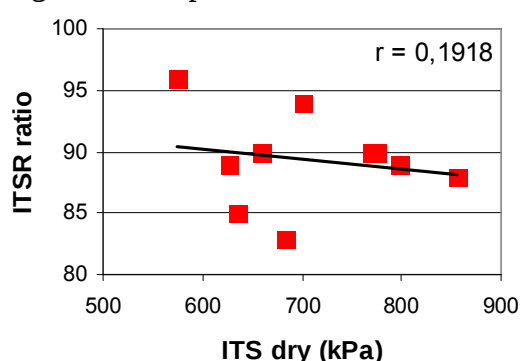


Figure 9a and 9b: Indirect tensile strength, dry and wet respectively, of asphalt concrete mixes, shown as a function of the filler's loss of ignition.



Figures 10a and 10b: Indirect tensile strength of dry and wet asphalt concrete samples as a function of methylene blue value of the filler.

As shown in Figures 11a and 11b, no correlation was found between the indirect tensile strength of the asphalt mixes and the ITSR ratio.



Figures 11a and 11b: ITSR ratio as a function of indirect tensile strength of dry and wet asphalt concrete samples.

In Figure 12a the indirect tensile strength ratio is shown as a function of percent of filler smaller than 1,8 μm . Figure 12b shows the ITSR ratio as a function of methylene blue value. According to these results, neither the filler's grain size distribution nor its clay content seems to affect water sensitivity of asphalt concrete samples under these testing conditions.

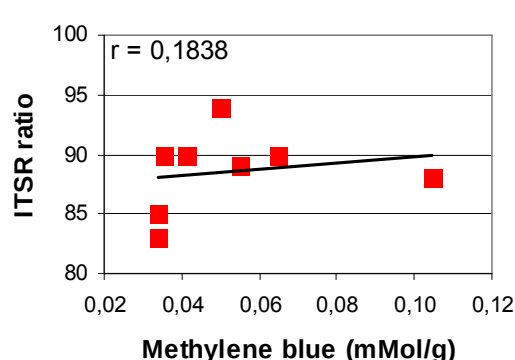
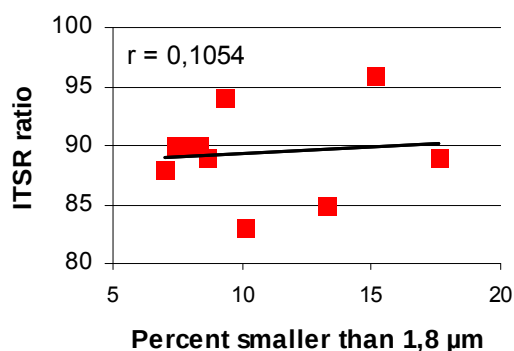


Figure 12a: ITSR ratio of asphalt concrete mixes as a function of percent of filler smaller than 1,8 μm .

Figure 12b: ITSR ratio of asphalt concrete mixes as a function of methylene blue value of the fillers.

Conclusions

Based on the experiment employed in this study, the following conclusions could be made. Montmorillonite content and grain size distribution of fillers are factors that probably affect the workability and the indirect tensile strength of asphalt concrete mixtures. In general, more workability and

less indirect tensile strength were obtained with finer filler. In contrast, more amount of montmorillonite seemed to give mixes less workability and more indirect tensile strength. Neither the amount of montmorillonite in the filler nor the grain size distribution of the filler alone can explain the damaging influence of water on asphalt concrete mixes under these testing conditions.

Sources

1. Solaimanian M., Kennedy T.W., and Elmore W.E. 1993. Long term evaluation of stripping and moisture damage in asphalt pavements treated with lime and anti-stripping agents. Texas Department of Transportation, Report No: CTR 0-1286-IF, Center of Transportation Research, University of Texas at Austin.
2. Little D. and Jones D. 2003. Chemical and Mechanical Processes of Moisture Damage in Hot-Mix Asphalt Pavements. Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements: A National Seminar, San Diego, CA, Transportation Research Board.
3. Kennedy T.W. 1982. Laboratory tests for water susceptibility. Proceedings of the Annual Meeting of Texas Hot Mix Asphalt Pavement Association, Report No: FHWA-DP 39-36, p. 160-189.
4. EN 13108-1:2006. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 1: Asphalt Concrete.
5. Hang P.T. and Brindley G.W. 1970. Methylene blue absorption by clay minerals. Determination of surface areas and cation exchange capacities (clay-organic studies XVIII). Clays and clay minerals, Vol. 18, pp. 203-212.
6. EN 12697-31:2002. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 31: Specimen preparation gyratory compactor.
7. EN 12697-12:2003. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens.
8. EN 12697-23:2003. Bituminous mixtures – Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens.
9. Crow E.L., Davis F.A. and Maxfield M.W. 1960. Statistics Manual. Dover Publications, Inc. NY.

Cementbundne bærelag i Danmark - udvikling og demonstration

Finn Thøgersen

Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut

fit@vd.dk

En del af de motorvejsbelægninger der blev udført i 1970'erne med bærelag af cementbundet grus har vist sig at have lang levetid. Med dette som udgangspunkt har Vejdirektoratet i samarbejde med COWI og NCC/Dansk Beton Teknik gennemført et udviklingsprojekt, der havde til formål at genintroducere de cementbundne bærelag som et seriøst alternativ for vejbygning på det overordnede vejnet i Danmark. Som opfølgning på udviklingsprojektet er der udlagt to demonstrationstrækninger ved Herning.

De holdbare motorveje

I perioden fra omkring 1970 til først i 1980'erne blev en stor del af de danske motorvejsstrækninger udført som halvstive belægninger, dvs. med bærelag af cementbundet grus. I alt blev der i perioden konstrueret over 100 km motorvej af denne type. Den typiske opbygning på disse strækninger var et 20 cm bærelag af cementbundet grus, hvorpå der blev udlagt 8-12 cm asfaltbærelag og endelig 3-4 cm asfalt slidlag.

I begyndelsen af 1980'erne ophørte brugen af de stive bærelag til motorveje i Danmark. Dette skyldtes primært at der blev konstateret alvorlige gennemslagsrevner på visse strækninger, f.eks. den østlige del af Fynsmotorvejen, der allerede ved åbningen havde kraftige revner.

Opståen af disse refleksionsrevner, dvs. tværgående revner for hver 10 – 15 m, vil ofte være det reelle nedbrydningskriterium for denne belægningstype. Det er en udbredt opfattelse, at revnerne i alle tilfælde vil reflektere op igennem asfalten før eller siden. Dette er dog ikke tilfældet, idet skønsmæssigt under halvdelen af de omkring 100 km motorvej i Danmark med cementbundne bærelag lider af refleksionsrevner i alvorligt omfang.

I forbindelse med de igangværende udvidelser af motorvejsstrækninger i Københavnsområdet har Vejteknisk Institut udført omfattende belægningsanalyser af de eksisterende belægninger. Det blev konstateret, at flere af de strækninger der var udført med cementbundne bærelag faktisk havde klaret sig rigtigt godt på flere punkter. En faktor der taler til fordel for de stive bærelag var, at asfaltslidlagene i flere tilfælde havde haft meget lang holdbarhed. Eksempelvis findes på den sydlige del af Motorring 3 en strækning med det oprindelige slidlag fra 1977, altså med en exceptionel lang levetid på 30 år.

Det bedste eksempel på en langtidsholdbar belægning som blev fundet i forbindelse med forundersøgelserne, var en belægning ved Brøndby som blev udlagt i 1980 og siden da har været praktisk taget urørt i 28 år. Der er ingen synlige refleksionsrevner og det oprindelige asfaltslidlag fremtræder uden reparationer med gode friktions- og jævnhedsværdier.

En mere generel analyse udført af Vejteknisk Institut, hvor man kiggede på asfaltslidlag på statsvejnettet med levetid over gennemsnittet, har desuden vist at disse slidlag ofte var placeret på cementbundne bærelag.

I projektet blev der indsamlet konstruktions-, trafik- og vedligeholdelsesdata for tre motorvejsstrækninger omkring København. Nye borekerner fra belægningerne blev undersøgt og faldlodsmålinger foretaget gennem hele levetiden blev behandlet.

Undersøgelserne af de gamle belægninger sandsynliggør, at det under de rette forhold er muligt at lave halvstive belægninger, der er stort set vedligeholdelsesfri i over 20 år. De undersøgte motorvejsbelægninger var dimensioneret til omkring 6 mio. $\text{Æ}10$, men har nu båret 15-35 mio. $\text{Æ}10$. Samtidig skal det dog understreges, at der også var eksempler på belægninger der slog fejl ret tidligt pga. alvorlige reflektionsrevner.

Nedbrydningsmodeller og fuldskalaforsøg

Det forhold, at de undersøgte belægninger langt havde overskredet deres beregnede holdbarhed, og samtidig var i fuldt funktionsdygtig stand, viste, at de kriterier der var anvendt ved dimensioneringen, ikke gav en troværdig bestemmelse af holdbarheden.

I udviklingsprojektet stilede man derfor imod at opstille en troværdig *nedbrydningsmodel*, der var i stand til at forudsige nedbrydningen af det stabiliserede materiale. Der blev udviklet en model af den *inkrementelt-rekursive* type, det vil sige en model, der ud fra information om begyndelsestilstanden, den aktuelle tilstand samt trafikens påvirkninger kan beregne, hvilken ændring af tilstand disse påvirkninger vil føre til.

Til verificering af modellen blev det besluttet at lave udmattelsesforsøg med den svensk-finsk ejede Heavy Vehicle Simulator - en stor mobil vejprøvemaskine. Forsøgene blev gennemført i Sverige, 75 km nord for Helsingborg. Ud fra måledata fra dette fuldskalaforsøg er den inkrementelt-rekursive nedbrydningsmodel kalibreret og efterfølgende verificeret med faldlodsdata målt på de danske motorveje konstrueret i 1970'erne.

Sideordnet med udvikling af dimensioneringsmodellen blev der i udviklingsprojektet udført en række laboratorieforsøg med henblik på at optimere materialesammensætningen for cementbundne materialer. Hensigten var at muliggøre brug af sand- og grusmaterialer, som ellers ikke anses for anvendelige til formålet. Tillige vil en optimeret kornkurve for tilslagsmaterialerne gøre det muligt at holde cementindholdet passende lavt, hvilket naturligvis er en økonomisk fordel.

Demonstrationsstrækninger

For at eftervise konceptets bæredygtighed blev der i august 2005 lavet en demonstrationsstrækning ved Høgild syd for Herning. Der blev udlagt 20 cm cementbundet grus, som efterfølgende blev forsynet med asfaltbindelag + slidlag, altså i alt 8-9 cm asfalt. Det cementbundne grus blev proportioneret til en 28 døgns styrke på 8 MPa, svarende til styrkeklasse $C_{8/10}$ i den nye europæiske standard EN 14227-1. Ved passende materialevalg var det muligt at opnå dette styrkeniveau med et cementindhold på 50-60 kg/m^3 .

Som tidligere nævnt var reflektionsrevner på nogle strækninger den faktor der reelt stoppede anvendelsen af cementbundne bærelag i Danmark i starten af 1980'erne. I de senere år har man i de fleste lande brugt forskellige metoder til at kontrollere revneudviklingen i de cementbundne bærelag. På strækningen ved Høgild blev der induceret tætliggende revneanvisere i det frisk udlagte bærelagsmateriale.

Strækningen blev åbnet for trafik i oktober 2007, og vil i de følgende år blive fulgt med visuelle inspektioner og bæreevнемålinger.

I april 2008 blev der udlagt endnu en demonstrationsstrækning med cementbundet bærelag på Vardevej ved Herning. På denne strækning blev der valgt en anden metode til at inducere et revnemønster i belægningen, nemlig slag med en tung guillotine på det hærdnede bærelag.

Afrunding

Erfaringerne fra udviklingsprojektet og demonstrationsstrækningerne vil danne baggrund for formulering af nye danske arbejdsbeskrivelser for cementbundne bærelag. Den dimensionerings- og nedbrydningsmodel som blev formuleret i udviklingsprojektet bliver implementeret i det nye danske dimensioneringsværktøj MMOPP.

Det er Vejdirektoratets håb, at den fornyede interesse for cementbundne bærelag kan bidrage til billigere og mere holdbare belægninger, hvor det bliver muligt at udnytte lokalt forekommende grusmaterialer.

Om fillers mineralogiska sammansättning och dess funktionsegenskaper hos asfaltbeläggning

Karl-Johan Loorents, Vägverket Region Väst

Sammanfattning

Fillers mineralogiska sammansättning i en asfaltmassa kommer att påverka nedbrytningen i asfaltbeläggningen. För att uppnå nära optimala tekniska egenskaper i en färdig asfaltmassa ska stenmaterialets alla korn vara täckta av en bitumenfilm. Om finfraktionen byts ut mot ett finmaterial med en skild specifik yta så kommer detta att påverka tjockleken av bitumenfilmen och strikt asfaltmassans tekniska egenskaper (förutsatt att bindemedelshalten hålls konstant). Fem kommersiella filler har analyserats vilka har beskrivits med avseende på; petrografi, mineralogi, specifik yta, geometriska egenskaper och yttextur. Asfaltprov tillverkades enligt kraven för AG 16 i ATB VÄG och till en provkroppsdiаметer om 100 mm. Under provberedning byttes fillerdelen ut mot de aktuella filler, samma fin och grovandel användes genomgående. Proverna undersöktes med avseende på styvhetsmodul före och efter konditionering i salt och frys-töcykler, s.k. ”vinterkonditionering” enligt VTI metodik. Resultaten visar att det finns en korrelation mellan den specifika ytan och – dvs. den mineralogiska sammansättningen – och asfaltprovets tekniska egenskaper.

Inledning

En avgörande faktor för beständigheten av en asfaltbeläggning är dess vattenkänslighet. Nedbrytning av asfaltmassa i närvaro av vatten är relaterat till de adhesiva bindningarna mellan stenmaterialet och bitumen. Höboda (2000) och Terrel and Shute (1989) har arbetat med denna fråga. *Dock, påverkan av filler fraktionens mineralogiska sammansättning är fokus för föreliggande arbete.* Vanligtvis undviks filler med ”högre” halter av glimmermineral i asfaltmassor. Glimmermineral påverkar beständigheten av asfaltmassan, särskilt uttalat för vattenkänsligheten (Höboda 1988, Miskovsky 2004). För att uppnå nära optimala tekniska egenskaper i en färdig asfaltmassa ska stenmaterialets alla korn vara täckta av en bitumenfilm, oavsett kornstorlek. Stenmaterialets totala ytarea beror till stor del av finfraktionens specifika yta (Hyypä 1964, Anderson et al. 1992, Huang et al. 2006). Om finfraktionen byts ut mot ett finmaterial med en skild specifik yta så kommer detta att påverka tjockleken av bitumenfilmen och strikt asfaltmassans tekniska egenskaper (förutsatt att bindemedelshalten hålls konstant). Dessutom då den totala ytarean av stenmaterialets korn domineras av finfraktionen, följer det att fillerfraktionens kvalitet är av yttersta vikt för beständigheten hos en asfaltmassa (Nieminen m.fl. 1986, Anderson 1992, Hakim m.fl. 2003, Miskovsky 2004, Said m.fl. 2007). Men kunskapen om hur och varför glimmerrika filler påverkar asfaltmassor negativt är begränsad.

Said m.fl. (2007) redovisar en studie där kopplingen mellan glimmermineral och asfaltmassors vattenkänslighet provades under frys-tö cykling. Olika glimmerrika filler provades vilket särskilt beskrev betydelsen av den specifika ytan av fillerfraktionen, men också betydelsen av andelen glimmer i samma fraktion. Arbetet drog även slutsatsen att den mineralogiska sammansättningen påverkade asfaltmassans egenskaper. Även Cheng m.fl. (AAPT 2002) har rapporterat skillnader under provning vilka relaterades till petrologiska och mineralogiska faktorer.

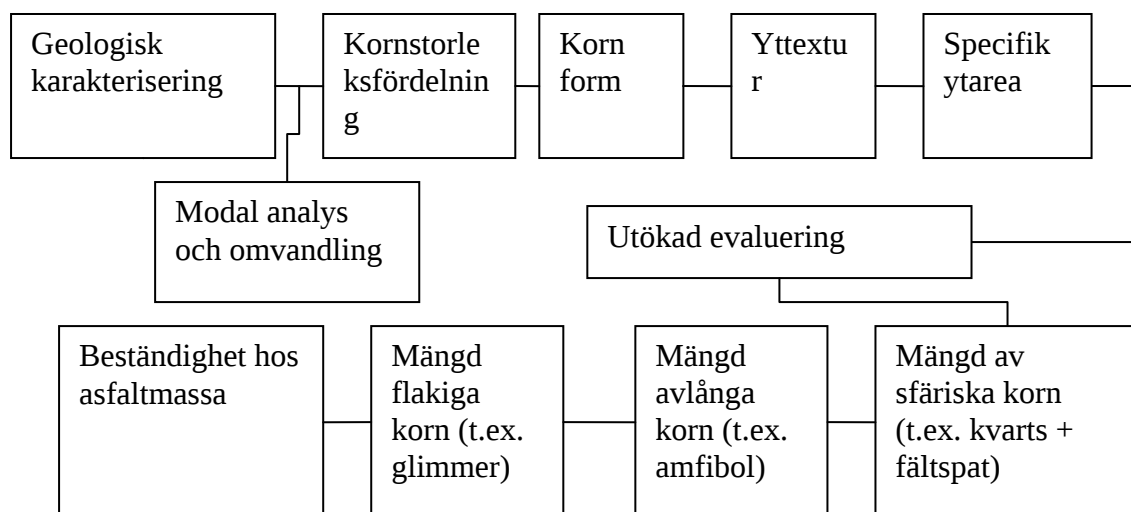
Föreliggande arbete har arbetat med fillers mineralogiska sammansättning enligt hypotesen att ett korns ytarea relaterar till dess mineralogiska tillhörighet. Filler proven har mineralogiskt karakteriserats och geometriska egenskaper såsom kornform, yttextur och specifik yta har

bestämts. Härutöver så har fillerprovens källberg petrologiskt och mineralogiskt beskrivits. Syftet är främst att beskriva påverkan av den mineralogiska sammansättningen av fillerfraktionen (korn < 0,063 mm) på beständigheten hos asfaltbeläggningar.

Metod och material

Studien är baserad på analys av olika kommersiella filler använda i asfaltmassa och analysförfarandet beskrivs i figur 1. Recepten baserades på viktprocent oberoende av typ eller volym av hos fillret. Asfaltmassa har tillverkats enligt recept motsvarande kraven i ATB VÄG för en AG 16 med 4,8 % bitumenhalt av typen 160/220. Största stenstorlek är 16 mm och 4,5 % hålrum. Stenmaterialet för fin och grovandelen härrör ifrån en granit med följande sammansättning; 40 vol% kvarts, 36 vol% Kalifältspat, 14 vol % plagioklas, 4 vol% muscovit, 3 vol% biotit och 3 vol% klorit. Assessoriska mineral utgörs av opaka mineral, apatit, epidot och zirkon.

Proverna undersöktes med avseende på styvhetsmodul (FAS Method 454-1995 and EN 12697-26:2004 Annex C) före och efter konditionering i salt och frys-töcykler, s.k. ”vinterkonditionering” enligt VTI metodik (Höbeda 2000). Beständighet tolkades som en förändring i styvhetsmodul, mätt efter frys-tö cykling. En förändring i styvhet relaterar till typ av filler och dess egenskaper .



Figur 1 Flödesdiagram visande karakteriseringsstegen

Fillerprovens ursprungsbergart beskrivs som 1) Medelkornig, grå, plagioklas-kvarts-biotit gnejs 2) Medelkornig metagråvacka 3) Medelkornig röd kvarts-plagioklas- K-fältspat gnejs 4) Medelkornig dolerit (diabas) och 5) Folierad medelkornig grå till röd granit.

Mineralsammansättningar ges i tabell 1 och är baserad på tunnslipsanalys och ljusmikroskopi av preparat av 16 – 22 mm fraktionen. Fillerfraktionens mineralogiska sammansättning återfinns i tabell 2. Filler har analyserats med hjälp av tunnslipsanalys och ljusmikroskopi av kornpreparat. För kornpreparaten användes en snäv fraktion (24–42 µm) för att minska spridning av analys av specifik yta (BET-analys).

Tabell 1 Mineral sammansättning för 16–22 mm (vol%) fraktionen

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
Kvarts	36.3	21.5	29.1	-	37.0
Plagioklas	43.9	47.7	29.3	42.9	14.0
K-fältspat	2.0	-	20.0	-	37.0
Amfibol	Spår	7.1	2.4		-
Muskovit	-	-	2.4	-	7.0
Biotit	16.8	22.3	0.6	0.3	4.0
Klorit	0.5	0.5	12.4	22.7	1.0
Epidot	Spår		3.0	-	-
Opaque	Spår	Spår	0.7	6.0	
Apatit	Spår	0.3	-	-	-
Zirkon	Spår	Spår	-	-	-
Titanit	0.3	0.5	0.4	-	
Kalcit	0.2	0.2	-	-	-
Granat	Spår	-	-	-	-
Pyroxen	-	Spår	-	17.9	-
Olivin	-	-	-	2.1	-
Serpentin	-			0.3	
Omvandling	-		1.8	7.8	-

Tabell 2 Mineralogisk sammansättning av 24–42 µm (partikel %) fraktionen

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
Kvarts	22.0	17.8	9.4	-	43.6
K-fältspat	0.9	-	3.7	-	25.4
Plagioklas	31.6	33.6	25.5	39.5	5.1
Muskovit	-	-	7.3	-	14.5
Biotit	40.8	31.9	2.5	0.6	10.1
Klorit	0.1	1.4	28.9	15.6	1.4
Amfibol	2.4	12.8	4.5	-	-
Pyroxen	-	-	-	27.0	-
Olivin	-	-	-	0.6	-
Titanit	0.1	-	1.2	-	-
Kalcit	0.1	0.4	-	-	-
Opaque	1.9	0.9	3.4	8.3	-
Epidot	0.3	1.1	13.5	-	-
Omvandling	-	-	-	8.4	-

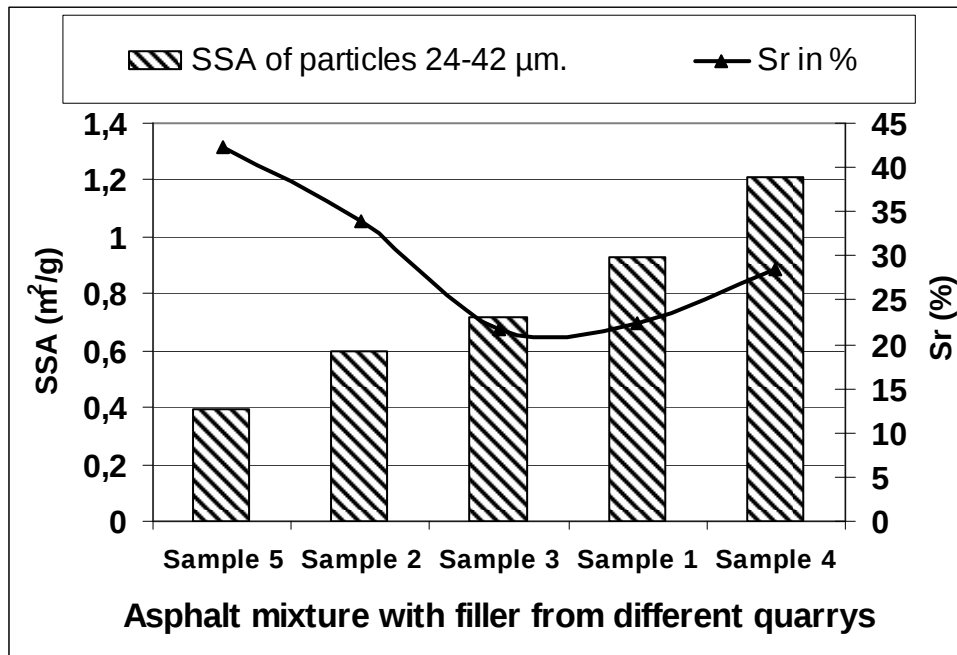
Den specifika ytarean bestämdes med Brunauer- Emmet-Teller metoden (BET) genom kväveadsorption (ISO metod 9277) för kornstorleksfraktion 0,0-0,063 och 24-42 µm. Utrustningen var en TriStar 3000 analysator (Micromeritics) som använder en multipunkt analys (åtta punkter) för bestämning av specifik ytarea.

Tabell 3 BET specifik ytarea (from Said et al. 2007)

	BET (m ² /g)				
Fraktion (µm)	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
0 – 63	2.81	2.75	2.19	2.41	1.32
24 – 42	0.93	0.60	0.72	1.21	0.39

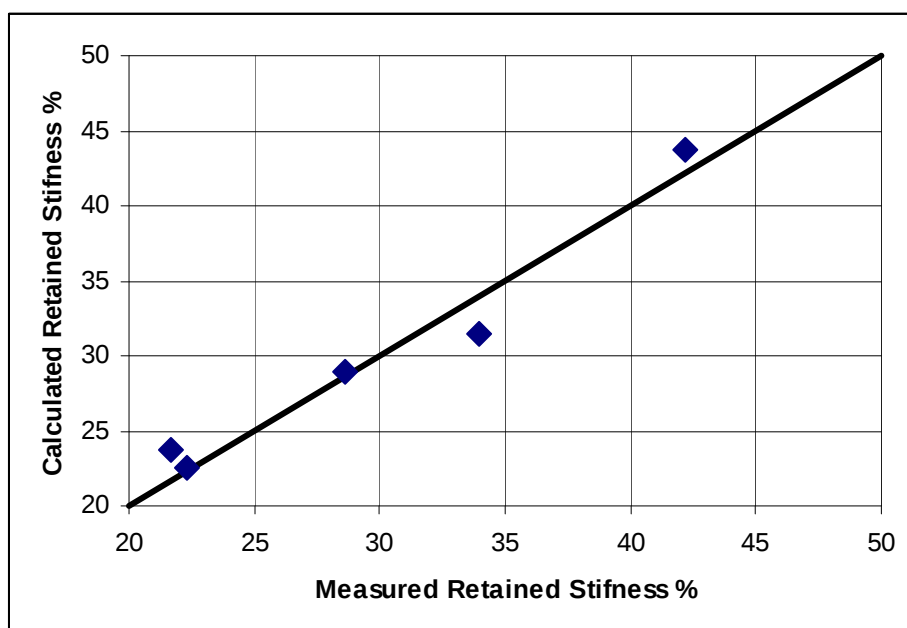
Diskussion och resultat

Figur 3 visar korrelationen mellan specifik ytareta eller fillermaterialens mineralogiska sammansättning och beständigheten hos asfaltmassor – ett högt BET värde korrelerar med låg styvhetsmodul. Sample 4 är ett undantag från denna trend. Sample 1-3 och 5 är alla sura bergarter, men Sample 4 är basisk. Baskiska bergarter har en generellt högre adsorption av bitumen än jämfört med sura bergarter, därför kan en annan korrelation för Sample 4 förväntas än jämfört med de andra sura bergarterna (Curtis m.fl. 1992). Av detta förstås att beständighet och specifik ytareta för Sample 4 är kopplade ytterligare parametrar vilka inte har beaktats i föreliggande arbete, återigen betonas vikten av petrologisk tillhörighet.



Figur 2 Specifik ytareta (24–42 µm) och styvhetsmodul (Sr) efter 35 frys –tö cyklingar(omarbetad efter Said m.fl. 2007).

En stegvis regressionsanalys genomfördes där alla mineralgrupper initialt användes, under den stegvisa analysen minskades eller justerades antalet variabler för att få ett passande antal oberoende variabler. Förhållandet styvhetsmodul och mineralgrupp har en korrelationsfaktor om $R^2 = 0,9$, observera att korrelationen är baserat på begränsad data. Figur 3 visar trenden mellan beräknad och mätt styvhetsmodul



Figur 3 Trendlinje för mätt och beräknad styvhetsmodul

Slutsats

Föreliggande arbete bekräftar att finfraktionen har en betydande påverkan på beständigheten hos asfaltmassor. Korrelationen mellan mineralogisk sammansättning och beständigheten hos asfaltmassan, bestämd genom frys-tö cykling, har påvisats genom fem fillermaterial med varierande mineralogisk sammansättning. Förekomst av glimmer, klorit och sekundära mineral som lermineral och hydrerade järnoxider är särskilt betydande då dessa har en betydande påverkan på beständigheten. Denna koppling behöver man ytterligare stärka genom kvalitativa mineralogiska och petrologiska studier och beständighetsprovning. Detta påvisar att mineralogisk karakterisering kan vara informativ inom kvalitativa utvärderingsprogram av filler, där analys av specifik ytarea är ett lovande verktyg. Vidare forskning på bergarter av samma petrografiska tillhörighet kommer att stärka förståelsen av hur specifik ytarea kan användas för att optimera asfaltmassor. Vidare så följer en rekommendation att den matematiska relationen mellan beständighet och specifik ytarea av fillerfraktionen stärks genom fortsatt provning och utvärdering.

Referenser

Anderson, D.A., Bahia, H.U., and Dongre, R. Rheological properties of mineral filler-asphalt mastics and its importance to pavement performance, effects of aggregates and mineral fillers on asphalt mixture performance: ASTM STP 1147, Philadelphia, 1992.

Cheng, D.X., Little, D.N., Lytton, R.L., and Holste, J., Use of surface free energy properties of the asphalt-aggregate system to predict damage potential. Journal of Asphalt Technology, Vol. 71 2002

Curtis, C.W., Lytton, R. L. and Brannan, C.J. Influence of aggregate chemistry on the adsorption and desorption of asphalt, 1992, TRR 1362, NRC, Washington, D.C.

Hakim, H. and Said, S. Glimmer i bitumenbundna beläggningar – Inverkan av fina, fria glimmerkorn. VTI notat 8-2003, Linköping, 2003. In Swedish

Huang, B., Shu, X. and Chen, X., Effects of mineral fillers on hot-mix asphalt laboratory-measured properties. *International Journal of Pavement Engineering*, 2006, 1-9.

Hyypä, J.M.I. The influence of the quality of mineral aggregates upon the optimum binder content of asphalt concrete pavements, as determined by Hveem's CKE method, The State institute for technical research, 1964, Finland Publication 88

Höbeda, P. Testing the durability of asphalt mixes for severe winter conditions. *Proceedings, Eurasphalt & Eurobitume congress*, 2000, Barcelona

Höbeda, P., Inverkan av stenmateriallets finandel på egenskaperna hos asfaltmassa – en litteraturstudie. VTI Notat V73, 1988. (In Swedish)

Miskovsky, K. Enrichment of Fine Mica Originating from Rock Aggregate Production and Its Influence on the Mechanical Properties of Bituminous Mixtures. *ASM International, Journal of Materials Engineering and Performance*, 2004, Vol. 13, No. 5, pp. 607-611

Nieminen, P. and Uusinoka, R. Influence of Quality of Fine Fractions on Engineering Geological Properties of Crushed Aggregate. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 1986, No. 33, Paris

Said S, Loorents K-J, Hakim H (2007). Impact of mica content on water sensitivity of asphalt concrete. Accepted for publication in the *International Journal of Pavement Engineering*.

Terrel, R.L. and Shute, J.W. Summery report on water sensitivity SHRP – A/IR – 89 – 003, 1989

4 Från resultat till planering av ny asfalt?

Man kunde inte i projektet med säkerhet fastställa hela skademekanismen. Därför kan vi här presentera endast synpunkter för planering av nya beständiga beläggningar. Säkrate sättet att förebygga uppkomsten av asfaltskador är att sluta använda acetater och formiater. Alternativa avisningsmedel är tyvärr inte tillgängliga.

Modifierat bindemedel är bättre än normalt bitumen. Om man inte vill använda modifierat bitumen, borde man använda hårdare, normalt bitumen (B70/100 eller hårdare). Hårdare, normalt bitumen förebygger inte skador, det tar bara längre tid för skadorna att framträda.

Stenmaterial bör inte vara känsligt för förvittring och materialet bör helst vara basiskt.

Gamla beläggningar som har utsatts för avisningsmedel bör inte återanvändas innan man med undersökningar har konstaterat att materialet är oskadat och användbart.

5 Slutsatser

Forskningsprojektet undersökte de skademekanismer, som avisningsmedel kan förorsaka asfaltbeläggningar. Projektets resultat visar att avisningsmedel (acetater och formiater) har negativa effekter på asfaltbeläggningar. Avisningskemikaliernas höga densitet och låga ytspänning inverkar starkt på avisningsmedlens inträngning i både beläggningen och i bindemedlet. Vidhäftningen mellan stenmaterial och bitumen blir dålig. Kemikalierna har negativ inverkan på asfaltbeläggningens långtidsbeständighet.

Projektet kunde inte direkt förklara den skademekanism som sker, då asfaltbeläggningen utsetts för de-icing kemikalier. Många av projektets resultat ger dock klara antydningar om skademekanismen. Vatten, avisningskemikalier, hög temperatur, mjukt bitumen och alla dessa tillsammans kan starta mekanismen som bryter ned asfaltbeläggningen, antingen på lång eller kort tid. På exempelvis experimentfältet i Rovaniemi dök skadorna upp efter fyra år. På vissa platser syntes aldrig några skador. Någon typ av re-emulgering under tryck kan vara en förklaring till skademekanism. Ska teorin stöta på framgång eller bakslag? Mera forskning på området krävs.

Själv tycker jag att problemet är internationellt. Varför skall varje land ensam lösa problemet? Nu är möjligheterna goda för gemensamma forskningsprojekt, där de bästa experterna på asfalt, bitumen, kemisk analytik, miljö och korrosion, kunde jobba tillsammans.

Referenser

Alatypö V., Jauhiainen P., Valtonen J. Jäänsulatusaineita kestäväen päällysteen kehittäminen - loppuraportti. Tekniska Högskolan. Väglaboratoriet. TTK-TIE-A58. ISBN 951-22-7895-2. Esbo. 2005. (+ flere delrapporter)