

Päällysteiden kestävyys ja ennenaikaisen vaurioitumisen syitä – case Kehä II

*Professori Terhi Pellinen
Jatko-opiskelija Michalina Makowska
Jatko-opiskelija Pablo Olmos Martinez
Perusopiskelija Olli-Ville Laukkanen*

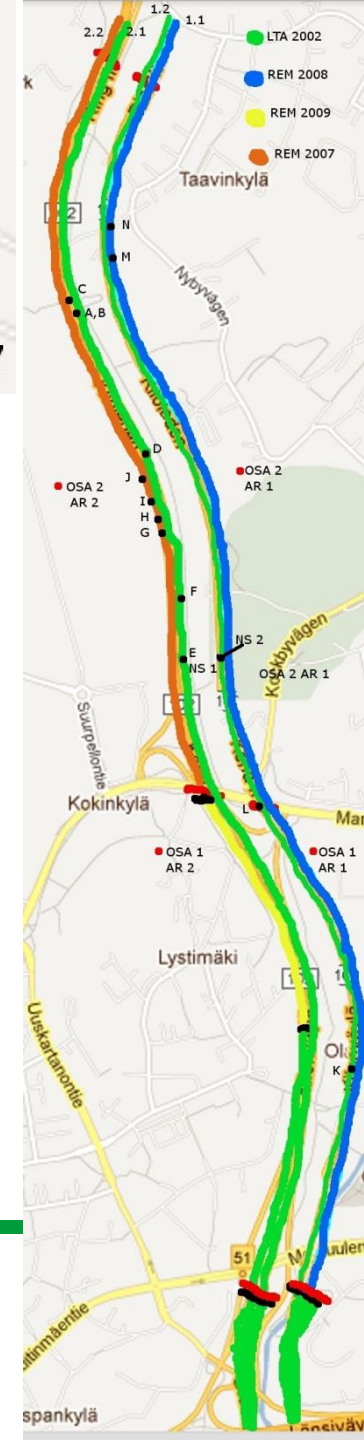
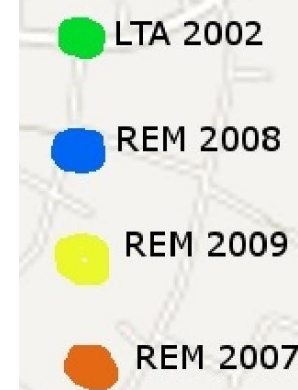
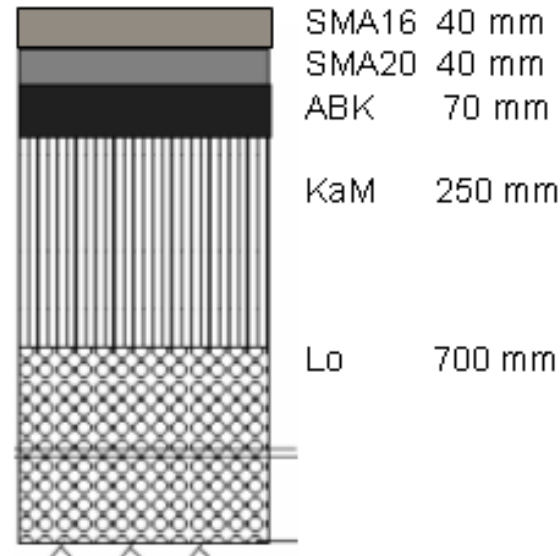
Kehä II Vaurioselvitys 2011-2012

- Kehä II päällystettiin uudelleen keväällä 2011 runsaiden päällystevaurioiden takia.



Kehä II rakenne ja historia

- Vaiheittain rakentaminen, v. 2000 asfalttia
 - ABK/175 ja SMA20/100
- v. 2002 lopullinen rakennepaksuus
 - SMA16/100
- Remix-uudelleenpäällystystä ja urapaikkauksia v. 2007-2009

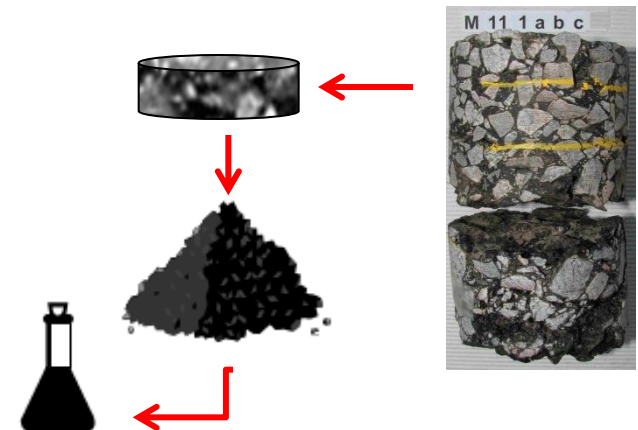


Aalto-yliopiston tutkimusmenetelmät

- Rakentamistietojen selvitys (raportit, arkistot)
- Vaurioselvitys
 - visuaalinen tarkastus
 - (maatutka RoadScanners Oy)
- Näytteenotto
 - poranäytteet vaurioituneista ja hyvistä kohdista
- Laboratoriotutkimukset
 - ainetta rikkomattomat testit
 - ainetta rikkovat testit
- Filleri- ja sideainetutkimukset

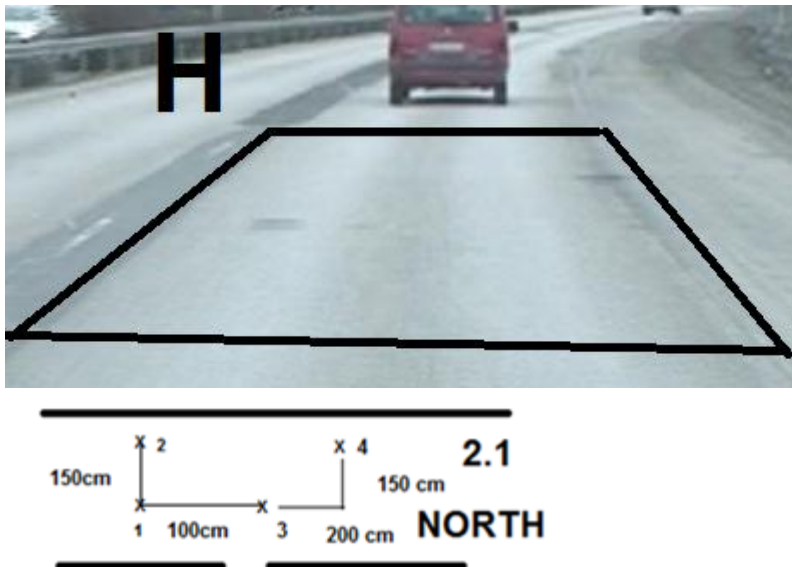
Näytteiden tutkiminen laboratoriossa

- Porapalat
 - massamäärä, päällysteen paksuus
 - päällysteen tiheys
 - massa jäykkyys ja halkaisuvetolujuus
- Massan tutkimukset
 - massan tiheys
 - massan uutto, sideainepitoisuus ja rakeisuus
- Uutetun kiviaineksen tutkimukset
- Uutetun sideaineen tutkimukset



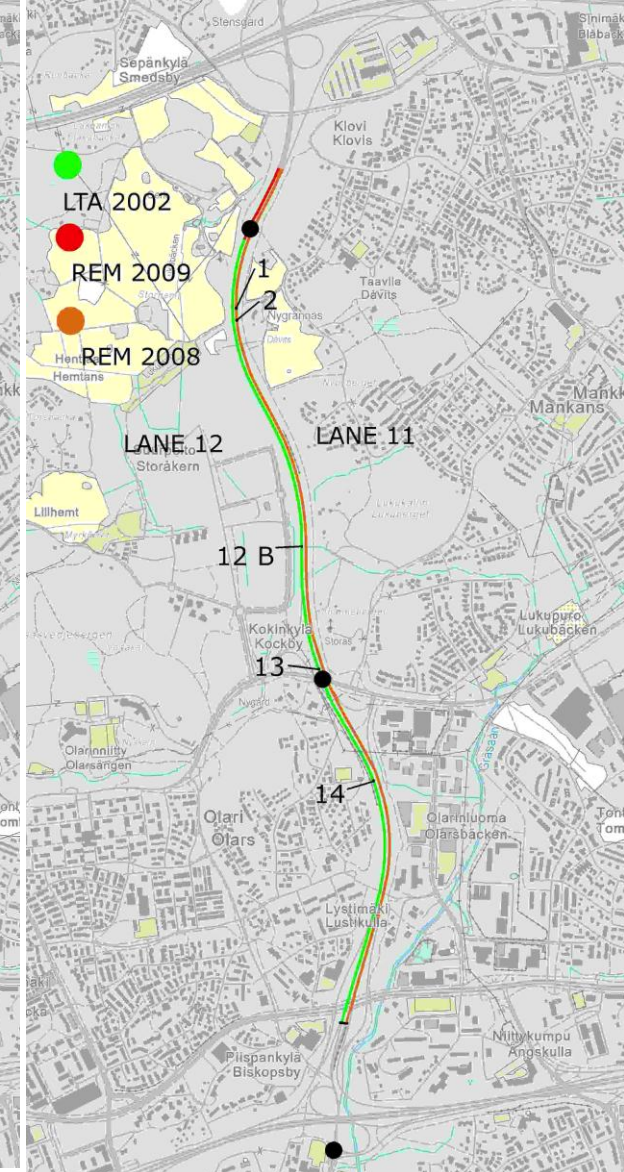
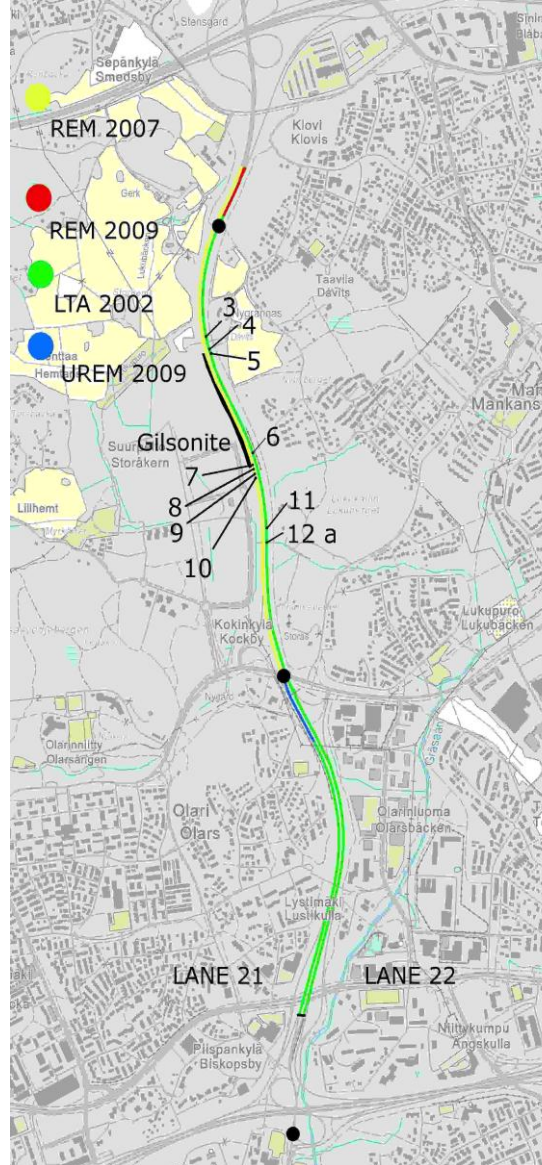
Poranäytteiden otto ja päällysteen visuaalinen tarkastus

- Päällysteessä paikkausta, purkaumia ja reikiä, siltojen alla enemmän vaurioita
- Poranäytteitä otettiin hyvistä ja huonoista kohdista.



Kehä II

	1.1	1.2	2.1	2.2	North
1	N				
2	M				
3				C	
4				B	
5				A	
6				D	
7			J		
8			I		
9			H		
10			G		
11				F	
12 a				E	
12 b		O			
13		L			
14		K			South



Havaintoja poranäytteistä 1(4)

Alue I: SMA16 LTA 2002

- Vaurioitumattomilla alueilla asfalttikerros oli monoliittinen ja rakenteellisesti hyvässä kunnossa



Havaintoja poranäytteistä 2(4)

Alue L: Remix-2007

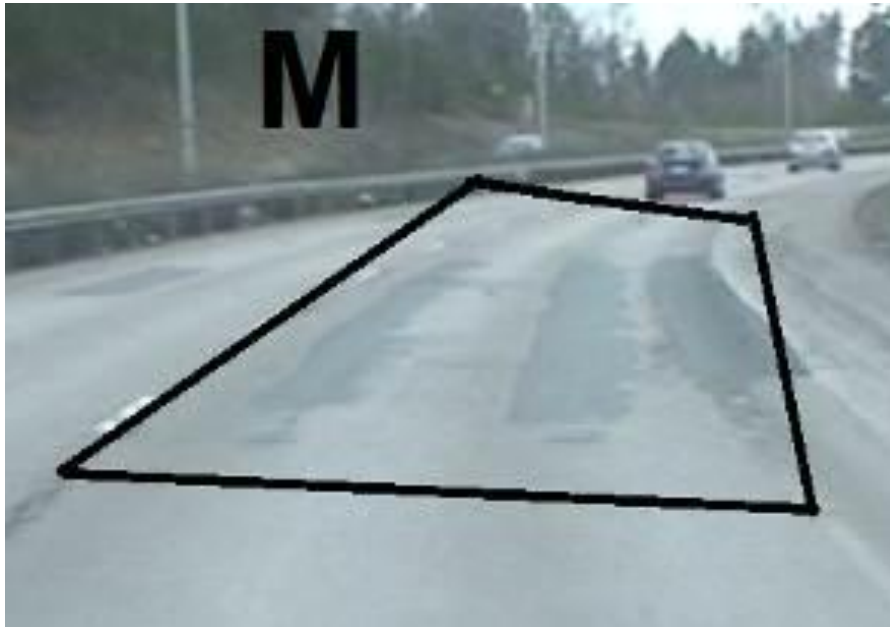
- Vaurioituneilla alueilla poranäytteet hajosivat ja/tai kerrokset erottuivat toisistaan.
- Joillain alueilla kaikki kerrokset olivat irti ja liima tuntui puuttuvan välistä



Havaintoja poranäytteistä 3(4)

Alue M: Remix-2008

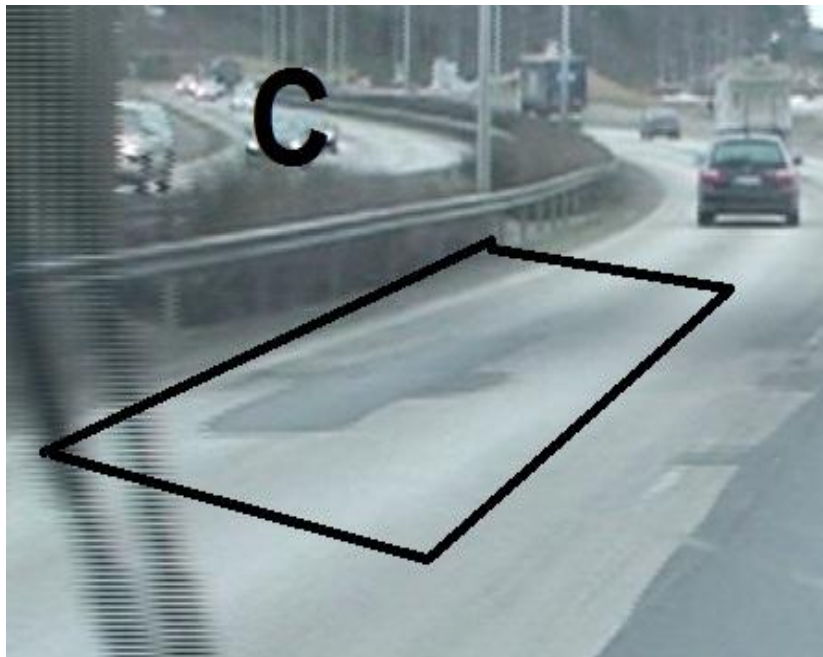
- Joillain alueilla vain kantava kerros ABK oli irti yllä olevista kerroksista, remix-käsittely oli ilmeisesti korjannut ylempänä olevien kerrosten vaurioita



Havaintoja poranäytteistä 4(4)

Alue C: SMA16 LTA 2002

- Alkuperäisessä SMA 16 päällysteessä asfaltti oli ”himmeän” näköistä, ruskehtavaa ja näytteissä oli harmaata ”pölyä”



B 22 3 a



B 22 3 b c



C 22 2 a



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

PANK Päälysteturssit
12-13.3.2013

Silmämääräinen kuntotarkastus

Poraus paikka	Ikä (vuosia)	Silmämääräinen kuntotarkastus	Kerrokset yhdessä		Veden pumppautumista	Porapalat rikkoutuivat
			a-b	b-c		
A,B,C	9	Vaurioitunut	Ei	?	Kyllä	Kyllä
D	9	Hieman vaurioita	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
E,F	9	Vaurioitunut	Ei	?	Kyllä	Kyllä
G,J	4 (REM)	Ei vaurioita	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
H	4 (REM)	Vaurioitunut	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä
I	4 (REM)	Ei vaurioita	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
K	9	Ei vaurioita	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
L	9	Vaurioitunut	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä
M	3 (REM)	Vaurioitunut	Kyllä	Ei	Ei	Ei
N	3 (REM)	Ei vaurioita	Kyllä	Ei	Ei	Ei
O	0 (REM)	Ei vaurioita	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei

Irronneiden kerrosten välissä oli jäätä

- Keväällä 2012 otettiin 2 laattaa uudelleenpäällystyksen jälkeen
 - Alueella E kerrokset ovat irti ja kerrosten välissä oli jäätä
 - SMA 16 laatta on ruskea ja asfaltti on murenevaa ja ”pölyistä” sekä hajoaa sormin puristettaessa





Massanäyte laatasta (E)
ennen uuttoa.

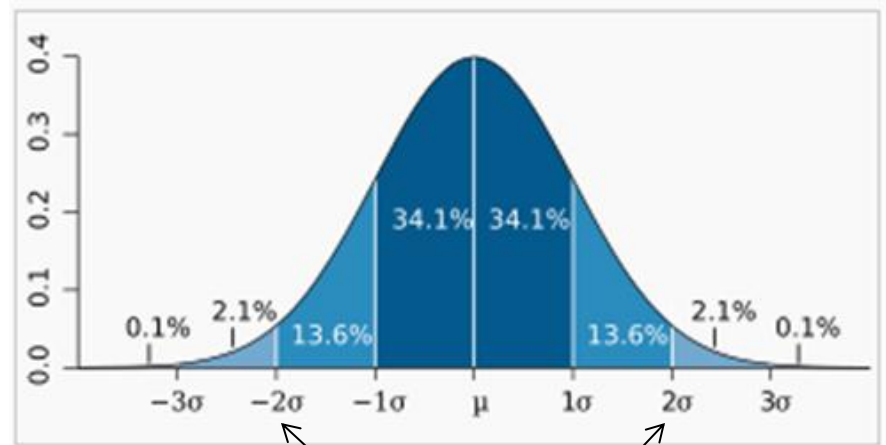


Massan suunnittelu ja laadunvalvonta (U-piiri arkistot)

- Massan suunnittelu SMA16 (VTT)
 - Gyratori-suhteitus
 - KF 9%, EKI-12 kuitua 0,33%, Koskenkylän kiviaines
- Laadunvalvonta (U-piiri)
 - massan rakeisuus, sideainepitoisuus
 - tyhjätilat DOR, ei poikkeamia, KA 2,71%, KH 2,42%
- Rakentamisolosuhteet, säätiedot (Ilmatieteen laitos)
 - Vuonna 2002 lämpötila oli lähellä nollaa kun 40 mm paksu SMA16 laatta tehtiin
 - Remix 2007, lämpötila yli 10°C, 5/6 työpäivästä satoi
 - Remix, 2008, lämpötila yli 10°C, 4/8 työpäivästä satoi

Laadunvalvontatulokset

Projekti : 501KO *09/501 KEHÄ II*
Massan tilavuuspaino : 2.456
Asfaltti/työtapa : EA/SMA 16
Ylitysraja : 6.00
Alitusraja : 0.00
Keskihajontaraja : 3.00
Matkalta : Koko projekti
Metriä/näyte : 5
Näytteitä : 4448 kpl
Linja (0=kaikki) : 0



Keskiarvo(tyhjätila)	:	2.71
Keskihajonta(tyhjätila)	:	2.42
Taulukon lähimmät	:	2- 2 hajonta
Taulukon lähimmät	:	0.15- 0.10 muutos%
Arvonmuutos hajonnan mukaan :		0.14 %

-2%

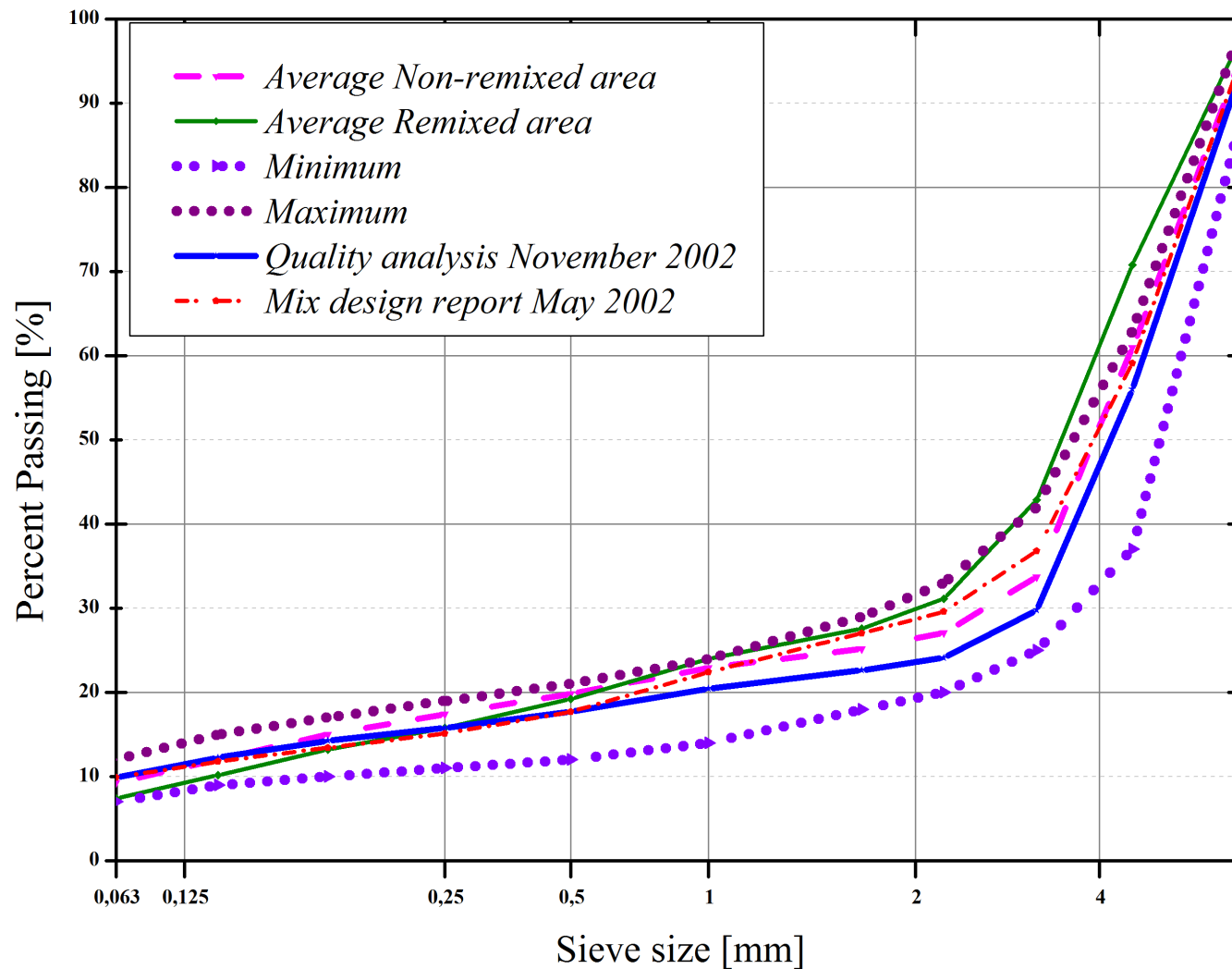
7,6%

SMA16 asfalttimassa (2002)

Kiviaineksen suhteitus	VTT %	Työmaa %
Filleri	9,0	8,0
Suodatinpöly	0,0	1,0
0-2 mm (hiekkä)	15,0	15,0
5-8 mm	10,0	10,0
8-16 mm	66,0	66,0

Akristosta löytyi lentotuhkan hehkutushäviötuloksia.

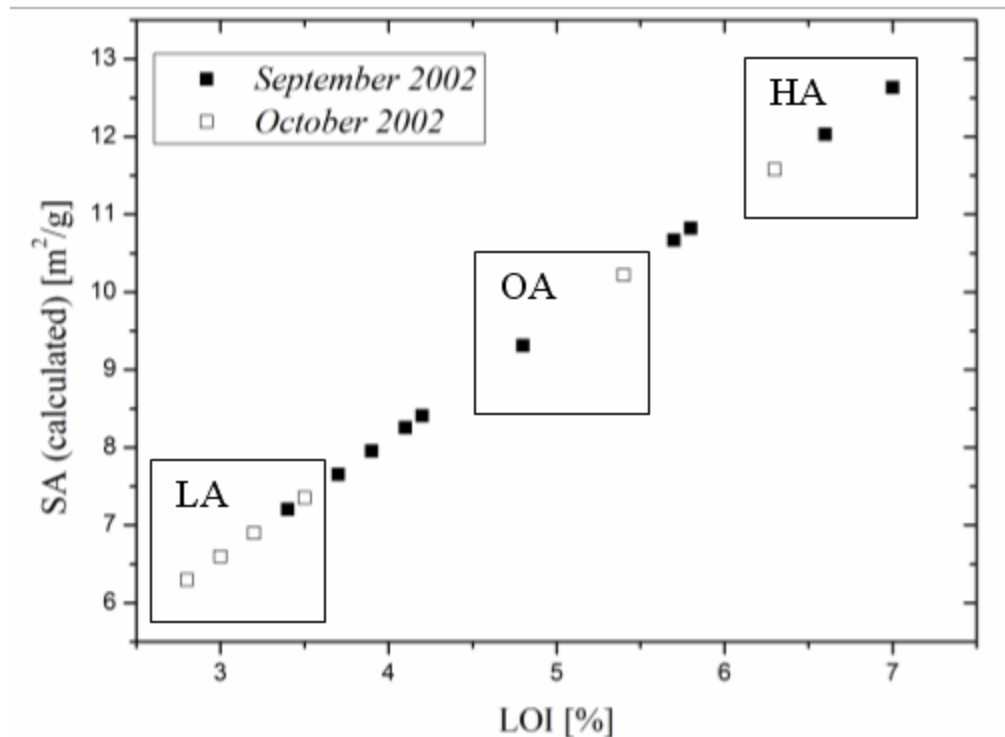
Ominaisuus	VTT	Työmaa (n=71)	
		Ka.	Kh.
Sideainepitoisuus, %	6,10	5,97	0,11
Sideaineen kovuus	70/100		
Kuidun määrä, m-%	0,33		
Rakeisuus			
0.063 mm	9,9	9,9	0,51
2 mm	22,4	20,5	1.14
4 mm	27,0	22.7	1.52
8 mm	36,8	29,8	1.85
11,2 mm	59,1	56,0	3.65
16 mm	96,5	95,1	1.71



Massassa käytetty filleri

- Kalkkifilleristä n. 25% oli korvattu lentotuhkalla ja suodatinpölyllä
- Sideainepitoisuus ohjearvo oli suhteutuksen mukainen 6,10%
- Ei hienoaineskokeita massan laadun varmistamiseksi
- Lentotuhkan ja kalkkifillerin seos
 - täytti kuitenkin normin vaatimukset 75%:n liukoisuudesta suolahappoon
 - ominaispinta-alan vaatimus myös täyttyi (1- 5 m²/g)
 - Vaatimus hehkutushäviölle täyttyi (< 7%)
- Lentotuhka (Fly Ash)
 - lentotuhka ei täysin täyttänyt vaatimusta hehkutushäviölle (< 7%)
 - ominaispinta-ala vaihteli ja tällöin myös sideainetarve vaihteli

Ominaispinta-alan ja hehkutushäviön korrelaatio



Höyryn lentotuhkan hehkutushäviö

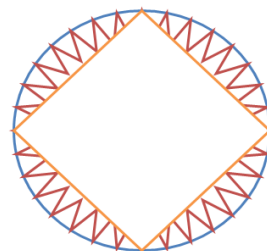
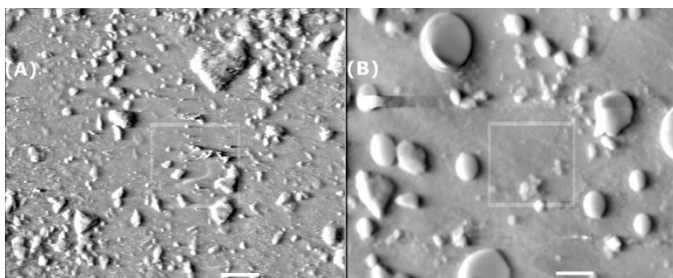
Syyskuu 2002

Pvm	Hehkutushäviö %
2.9.2002	3,4%
4.9.2002	3,7%
6.9.2002	5,4%
8.9.2002	6,6%
12.9.2002	7,0%
15.9.2002	5,7%
17.9.2002	3,9%
19.9.2002	4,2%
22.9.2002	4,1%
24.9.2002	4,8 %
26.9.2002	5,8 %
29.9.2002	5,8%

LA – low average, OA – overall average, HA – high average.

Hienoaines/bitumisuhde (f/b)

Ominaisuus		Lask. SA [m ² /g]	VTT	K (hyvä)	A,B (vaur.)	C (vaur.)
8% hienoaines, 3:1 (KF:FA)	LA	2,4395	?	2,844 [m ² /g]	2,757 [m ² /g]	3,567 [m ² /g]
	OA	2,8165				
	HA	3,2433				
9% hienoaines, KF		1,6535				
0,063 mm seulan läpäisy [%]			9,9	11,0	9,2	7,7
Sideainepitoisuus [%]			6,1	6,3	5,9	5,9
f/b (massa-%)			1,62	1,74	1,55	1,30
Omin.PA/b (massa-%)			0,27	0,45	0,47	0,61



Ominaispinta-ala kasvaa kun raemuoto on pyöreää

Reconstructed Kehä II on the basis of QC
Solubility of extracted

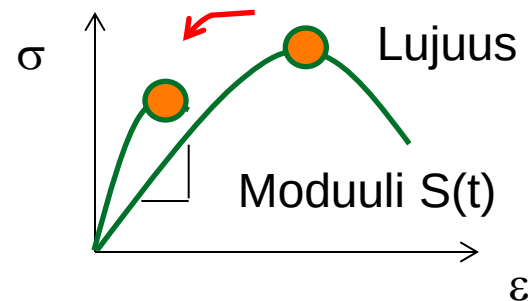
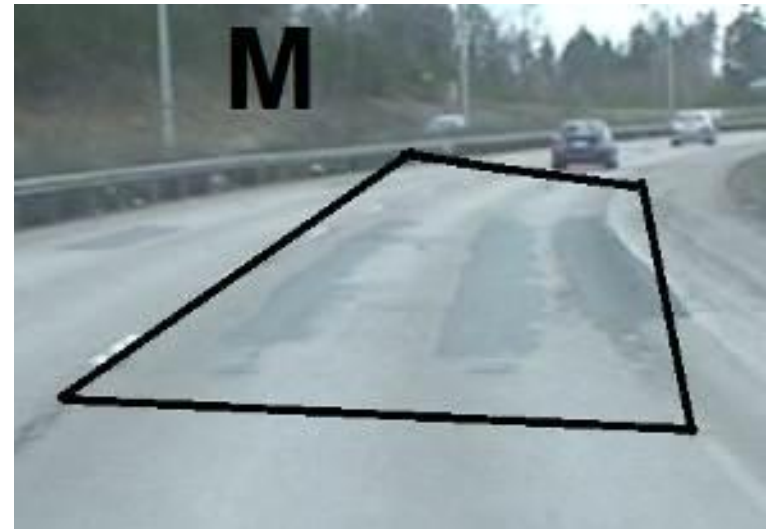
Reconstructed VTT design
Solubility of raw

Solubility of raw

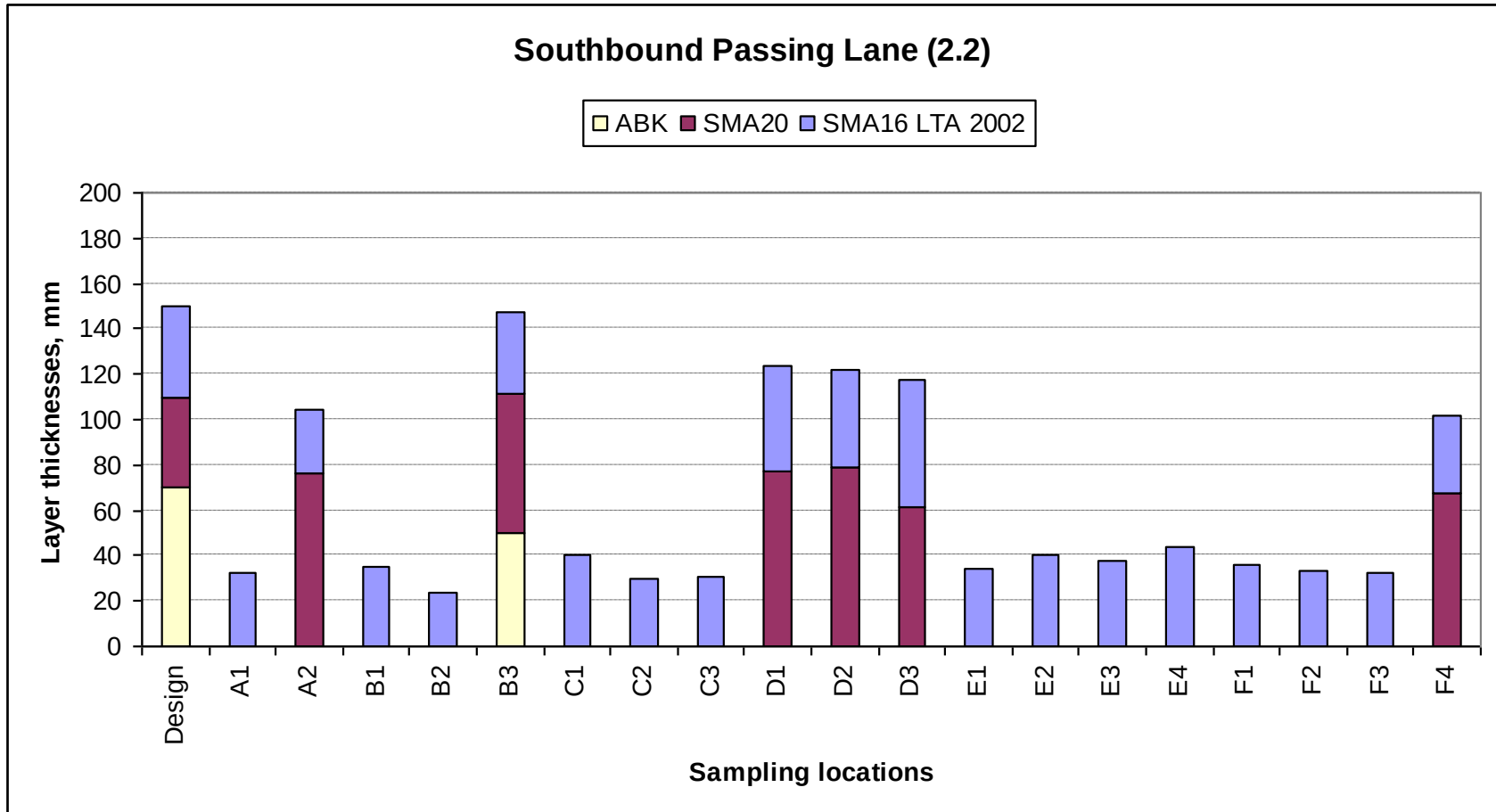
Solubility of extracted

Poranäytetutkimukset, yhteenveto vaurioituneista kohdista

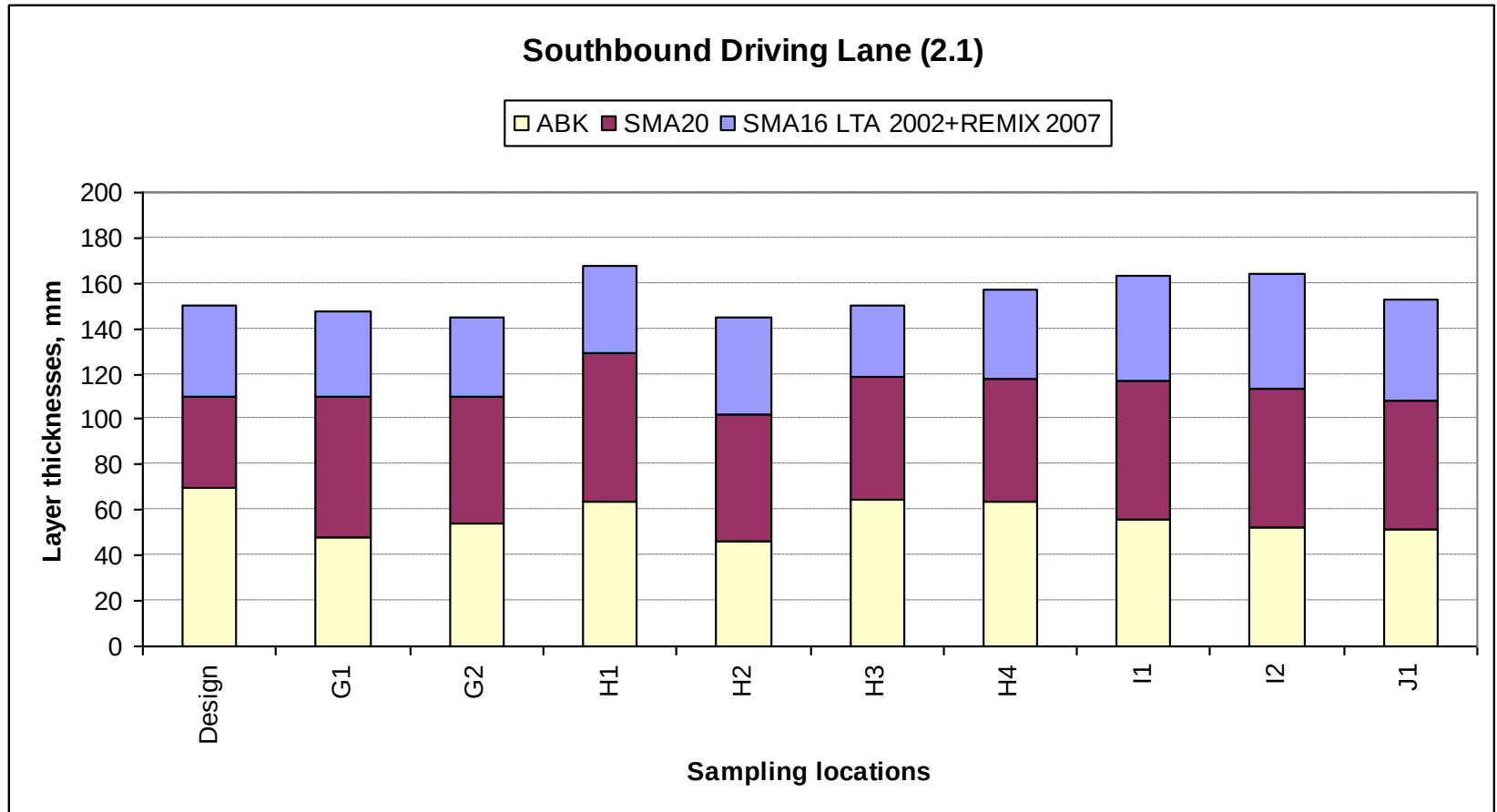
- Vaurioituneet kohdat päällysteessä
 - massamäärä alle 40 mm
 - tyhjätila yli 5%
 - liimaus puuttui/hävinnyt kerrosten välistä
 - sideainetta peseytynyt kiviaineksen pinnalta, tartunta pettänyt
- Päällysteen lujuus oli alhainen
- Päällysteen jäykkyys oli lievästi kasvanut
 - Viskoelastiset ominaisuudet muuntuvat elastisiksi, eli materiaali muuttuu sitkeästä hauraaksi



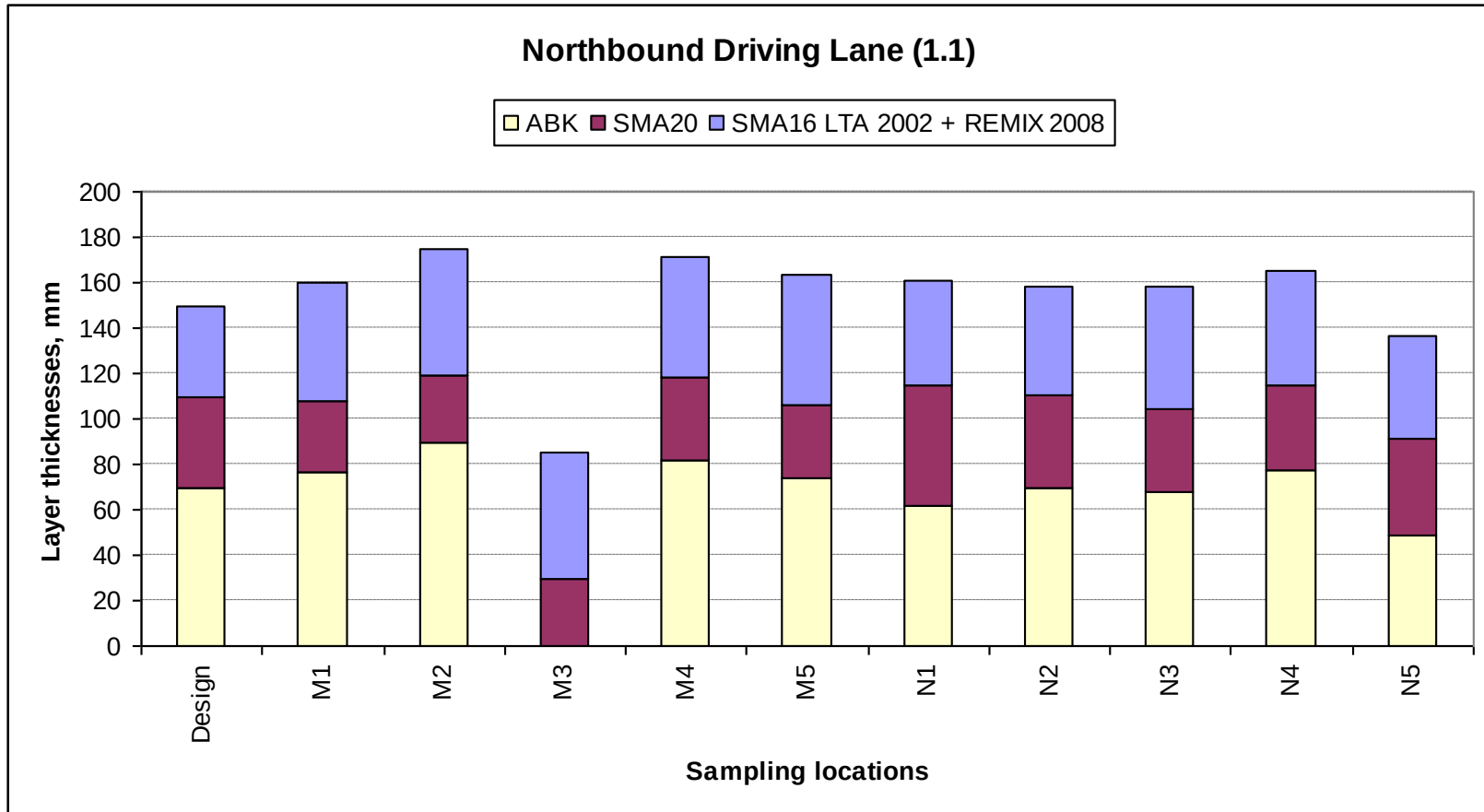
Alkuperäinen SMA16 LTA, päällysteen paksuus



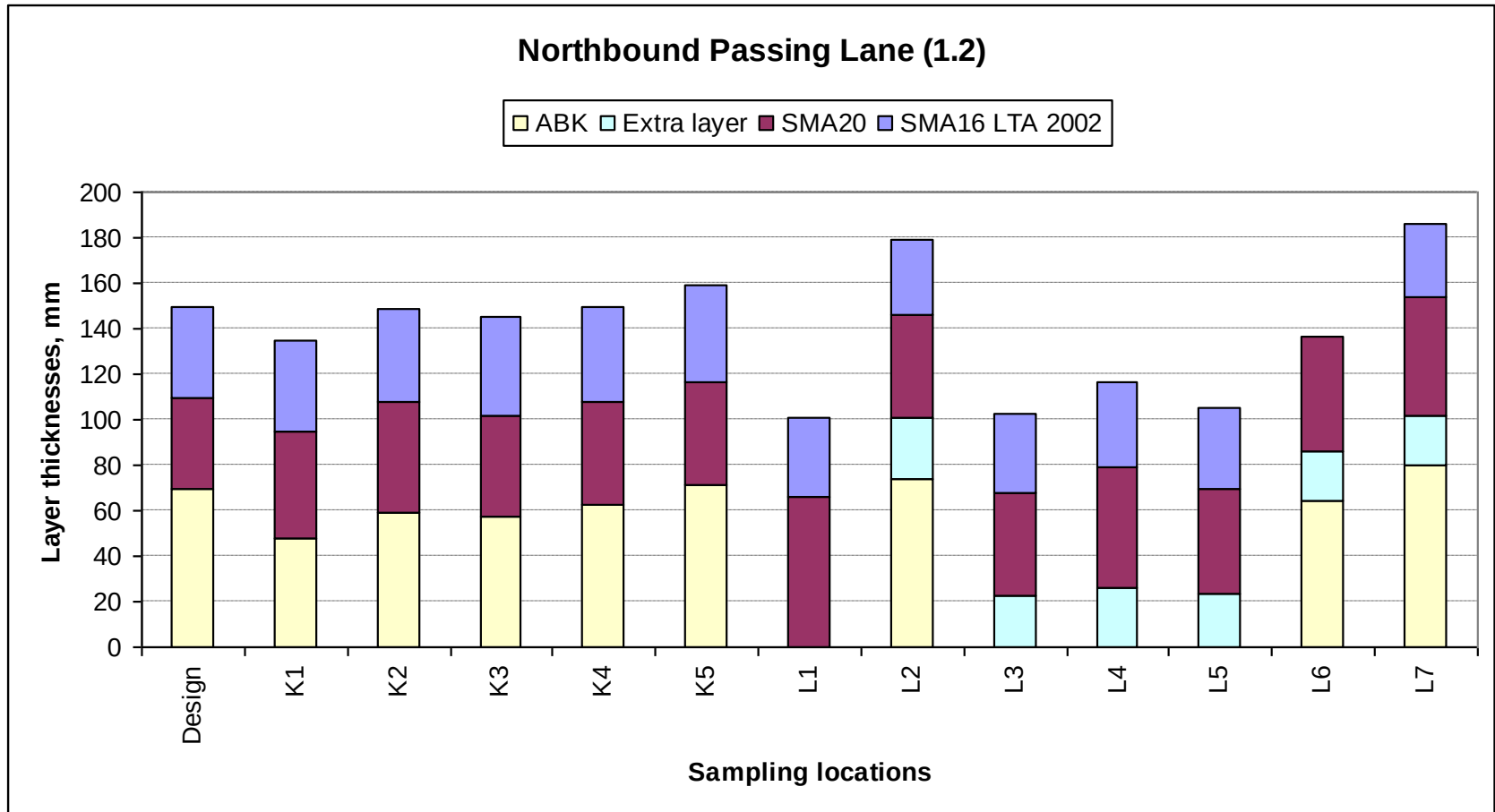
Remix 2007, päällysteen paksuus



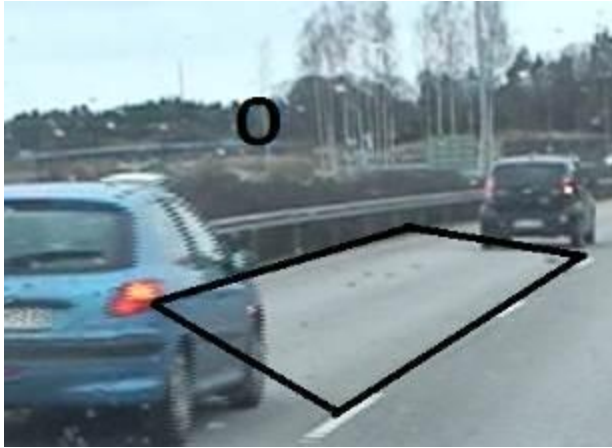
Remix 2008, päällysteen paksuus

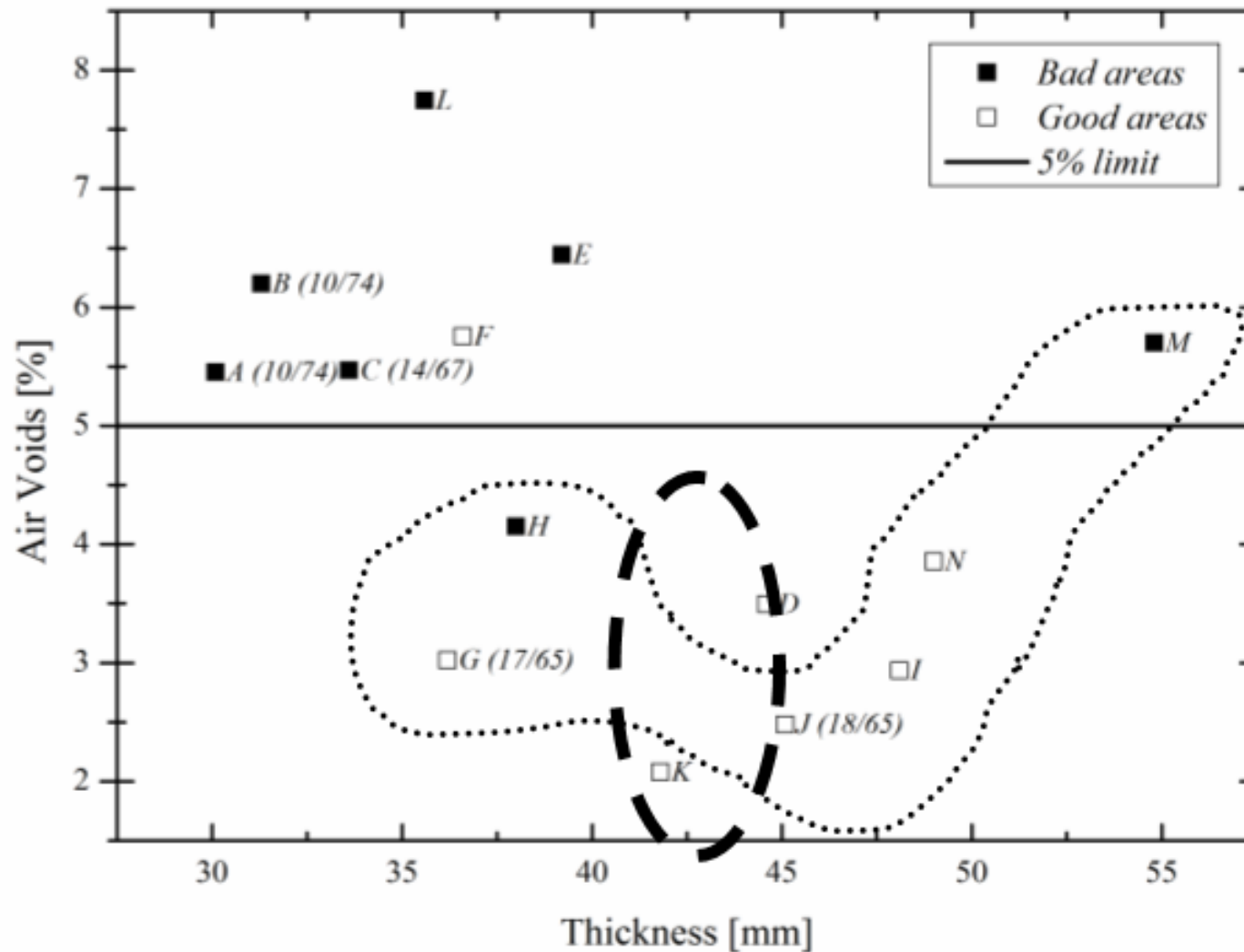


Alkuperäinen SMA16 LTA, päällysteen paksuus



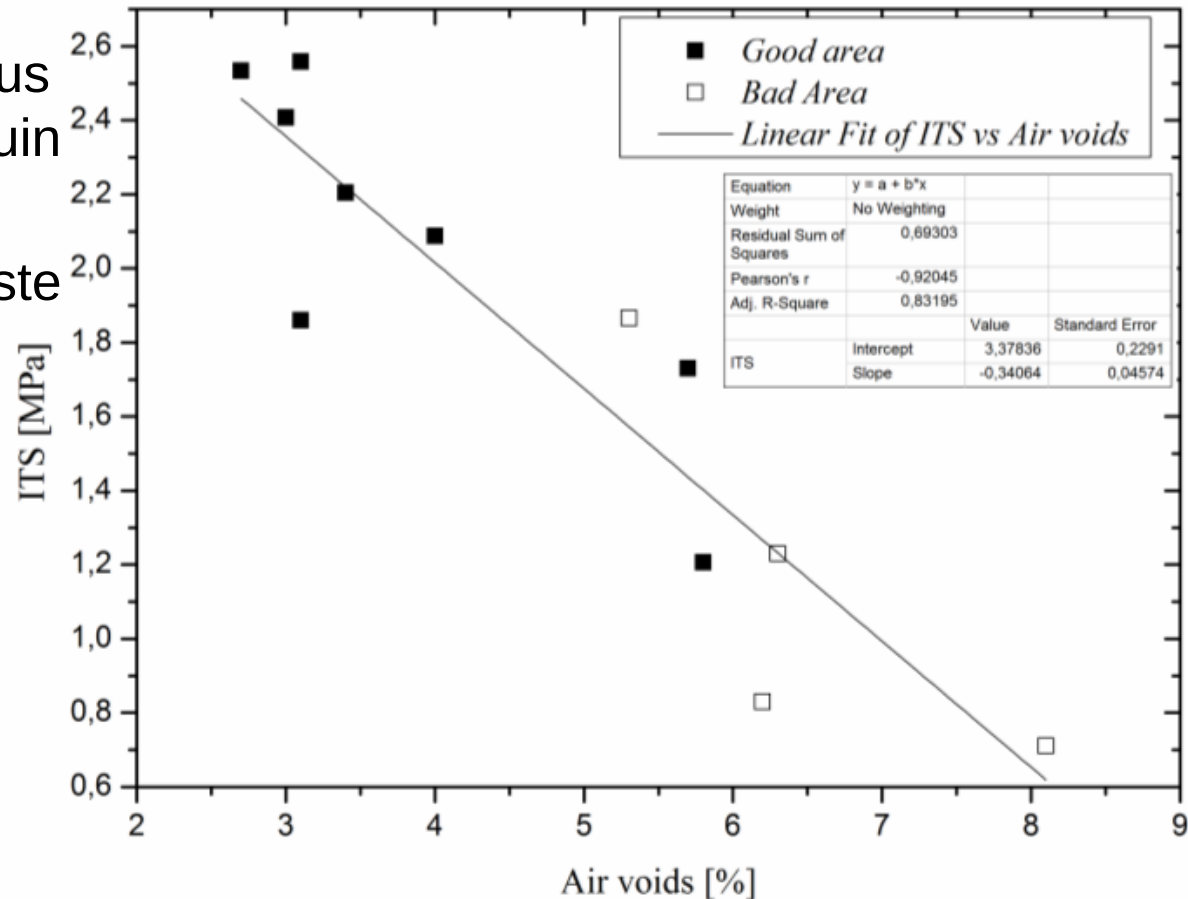
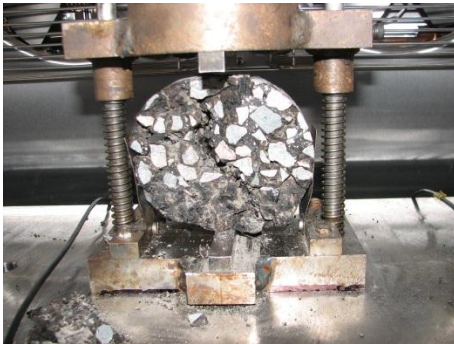
Painumakorjauksia?





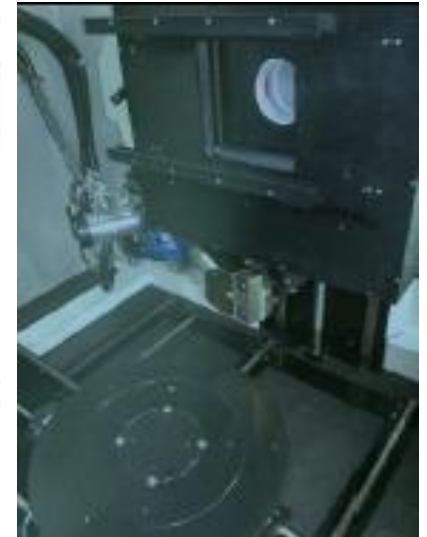
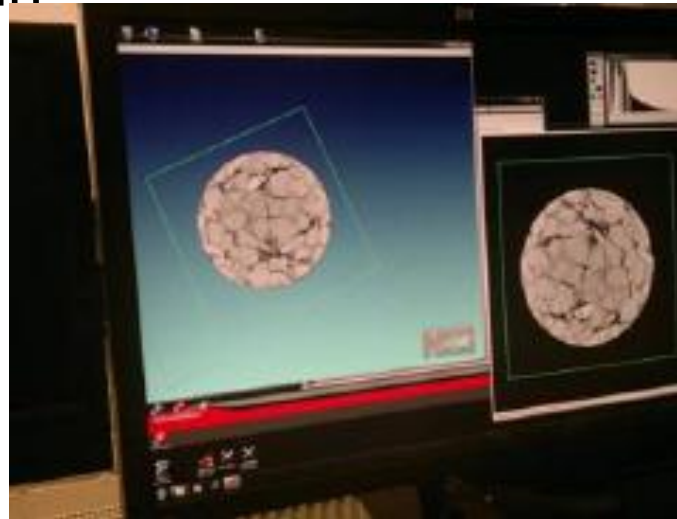
Epäsuora halkaisuvetolujuus (ITS)

- Huonoissa kohdissa lujuus oli 5 kertaa alhaisempi kuin hyvissä kohdissa.
- Joissain kohdissa päällyste mureni käsissä.

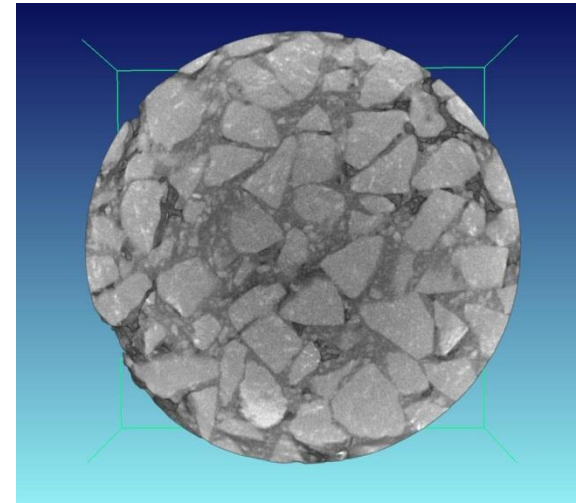
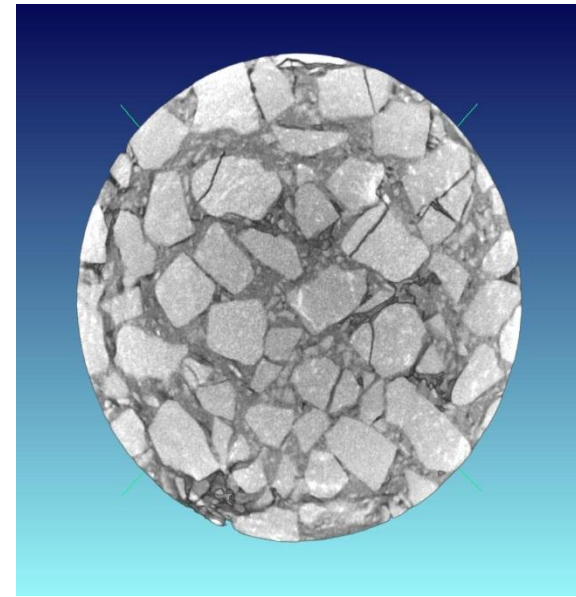
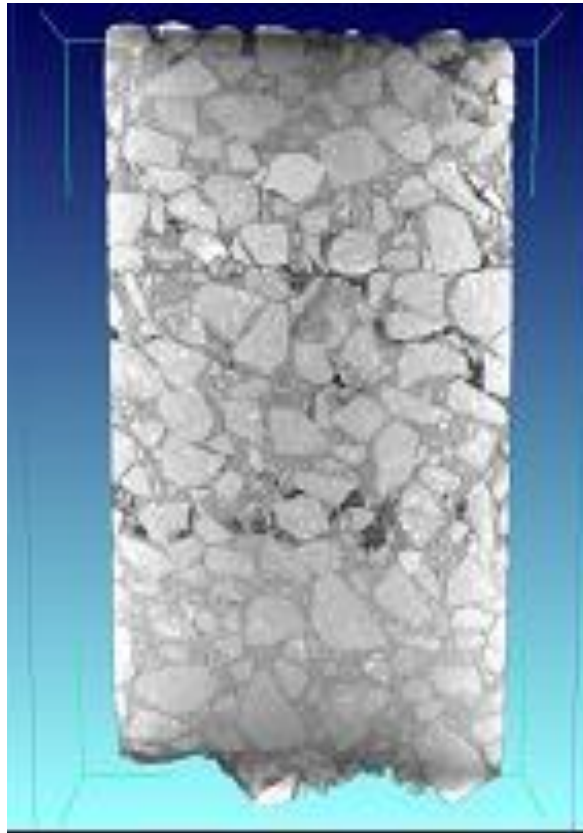


X-Ray skannaus

- x-ray skannaus on menetelmä, jossa asfalttinäytettä voidaan tutkia ”sisältä” käsin
- tutkimukset tehtiin KTH:n laitteella

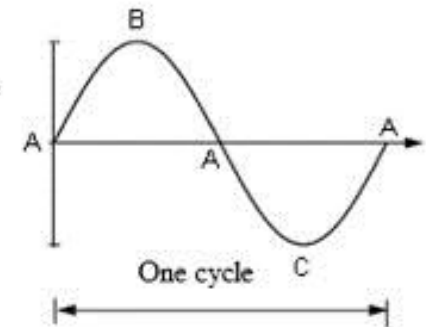
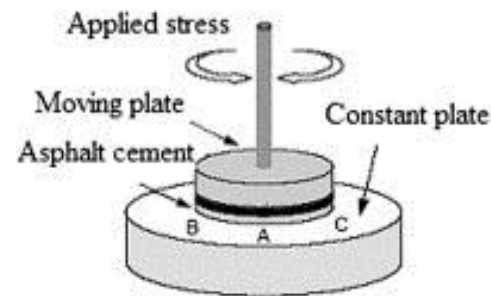


Päällysteen rakenne



Bitumitestit

- Tunkeuma
- Pehmenemispiste
- Dynaaminen leikkausreometri (DSR)
 - bitumin jäykkyys, G^* ja vaihekulma δ
- SARA-fraktiot
- Fraass murtumispiste

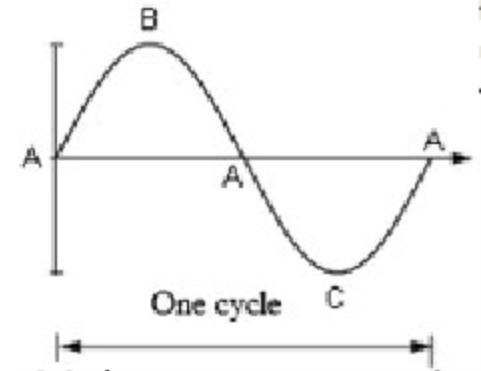
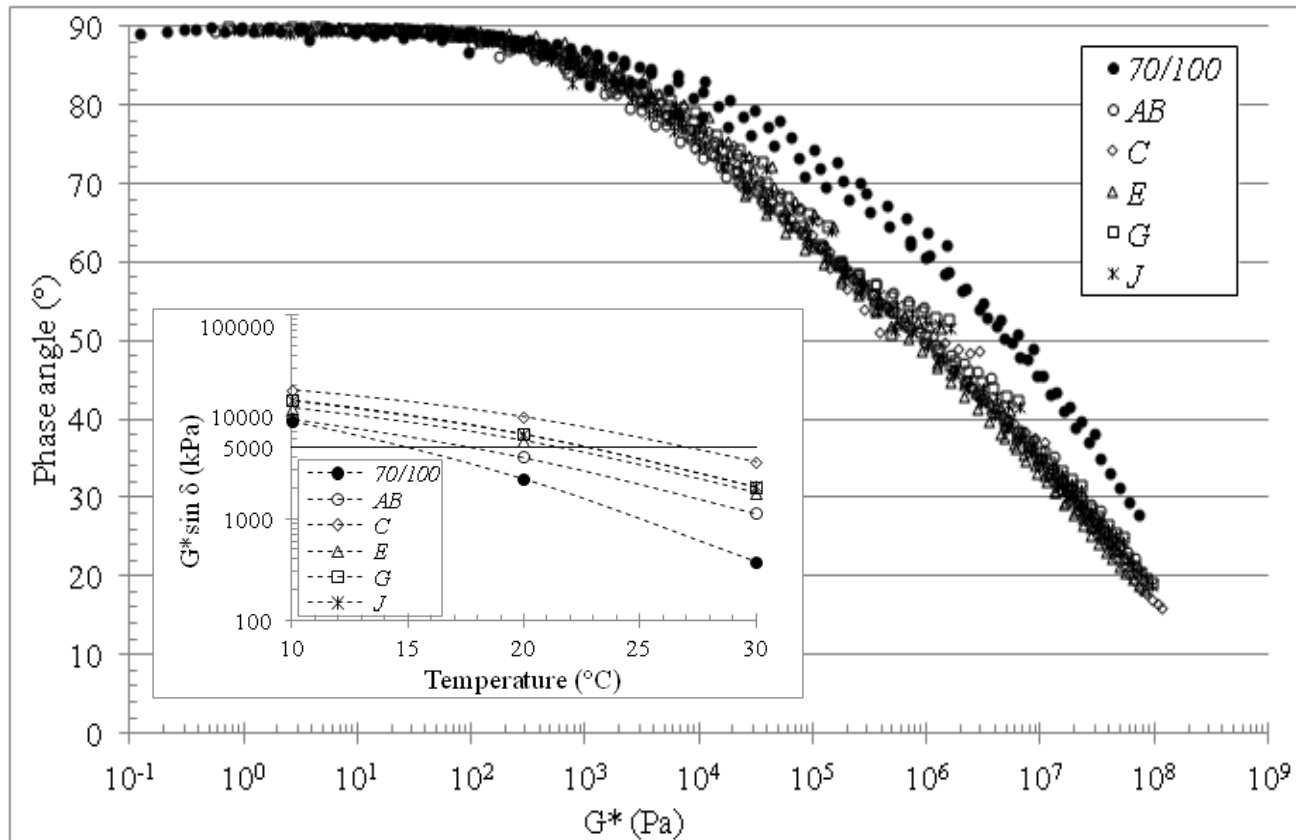


Bitumitestit



Ominaisuus	PANK 70/100	70/100	AB	C	E	G	J
Tunkeuma 1/10 mm at 25°C	70-100	66,5	9,8	13,7	28,0	16,5	17,7
Pehmenemispiste, °C	43,0-51,0	47,5	73,6	66,9	-	64,8	65,0
Fraass murtumispiste, °C	≤ -10	-18	-2	-4	-	-4	-4
G* at 64°C (kPa)		1,11	11,14	69,71	23,37	21,79	19,59
δ at 64°C (deg)		86,84	75,18	65,87	73,28	72,74	74,05
G*/sin δ at 64°C (kPa)		1,11	11,52	76,38	24,40	22,81	20,37
G*sin δ = 5000 kPa (°C)		15	18	27	21	23	23

Dynaaminen leikkausreometri (DSR)



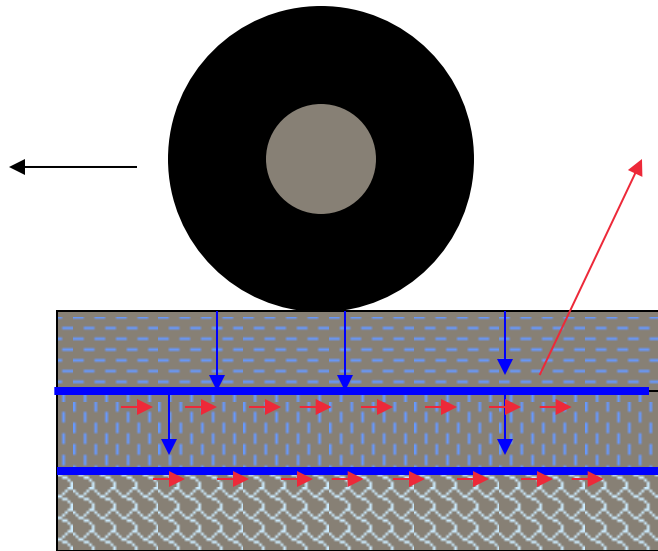
Yhteenvedo vaurioiden syistä 1(2)

- Massan koostumus
 - kalkkifilleriä korvattu lehtotuhkalla, joka vanhentaa eli kovettaa sideainetta enemmän kuin KF, sideaine haurastuu
 - lentotuhkan tarvitsemaa lisäsideainetarvetta ei oltu otettu huomioon, jolloin massasta tuli liian kuivaa
 - kuivaa massa jäykistyy ja on vaikeasti tiivistettävää
- Päällysteen koostumus
 - massa kuivaa, huono sää, vaikea tiivistää, tyhjätila jää paikoin korkeaksi
 - massassa lajittumista
 - massamäärä vaihtelee, liimaus puutteellista?, vesi pääsee rakenteeseen

Yhteenveto vaurioiden syistä 2(2)

- Päälyysrakenne
 - liian ohuita kerroksia massaa suhteessa kiviaineksen raekokoon
 - Vaiheittain rakentaminen altisti rakenteet veden vaikutuksille
 - Liikenne pumpannut vettä halkeamiin ja kerrosten väliin, todisteena pöly irronneiden kerrosten välillä.
 - sideaine on haurastunut, murtumispiste lähellä 0 astetta, jäätymis-sulamissyklit aiheuttavat mikrohalkeamia, jotka haurastuttavat lisää päälyystettä, lujuus alenee
 - veden virtaaminen rakenteessa pesee bitumia pois kivien päältä, jolloin tartunnan edelleen heikkeneminen

Vauriomekanismi



Irti oleva kerros liikuu pyörän työntämänä ja liike synnyttää leikkausvoimia kerroksen sisällä ja kerrosten rajapinnassa. Syntyy halkeilua, jota edesauttaa päällysteen suuri tyhjätila. Vesi pääsee tunkeutumaan rakenteeseen.

Pyörän aikaansaama hydrostaattinen paine leviää kerrosten välissä ja massan sisällä. Vesi ei puristu kasaan, joten syntyy suuria paineiskuja.

Mastiksiin syntyneet mikrohalkeamat suurenevät, kun päällyste liikuu alustalla ja hydrostaattinen paine sekä jäätymis- sulamissyklit rasittavat rakennetta kunnes vihdoin mastiksin tartuntavoima pettää ja kivet irtoavat massasta, jolloin syntyy reikä. Liikenne murentaa päällystettä ja reikä kasvaa liikenteen ja vedenpaineen rasitusvaikutuksesta. Korjautumista ei tapahdu kesällä (healing) koska sideaine vanhenee ajan myötä muuttuen juoksevasta kiinteämmäksi, hauraammaksi ja lasimaisemmaksi (elastisemmaksi).

Esimerkki: Liiman puuttuessa irtonaiset kerrokset luistavat ja siirtyvät toisensa suhteen



→ Kuormituskoe, jossa tapahtui odottamaton hauras murtuma päällysteen lämpötilan ollessa 10°C. Kulutuskerroksen ja kantavan kerroksen välissä ei ollut liimaa (kuumasaumaus).

← Sitkeä murtuma päällysteen lämpötilan ollessa korkea, liima puuttuu kerrosten välistä

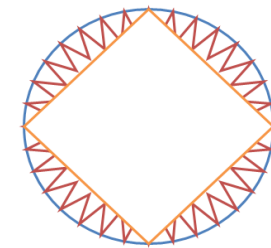
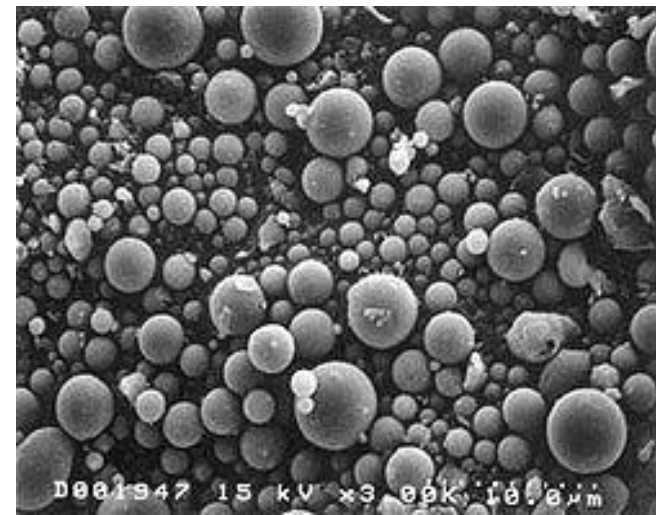


Esimerkki: leikkausvoimien aikaansaama hankaus mursi lopulta asfaltin ja aiheutti päällystesiivun leikkautumisen irti



Problems with fly ash

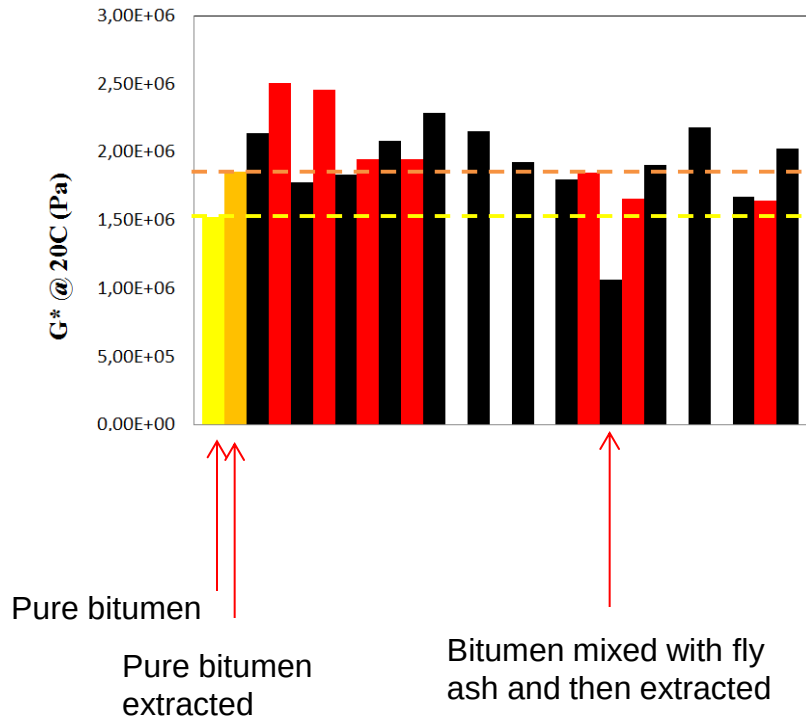
- Surface area is high
- Unburned carbon
- Round shape of aggregate
- Chemical composition
 - Silica, calcium, iron, aluminum
 - Heavy metals, Kalium (K), acidic anions (Cl-, SO₄²⁻)
- More silica in mixture increases moisture susceptibility, i.e. moisture damage
- Iron stiffens the mastic (compare: asphaltenes are precipitating during crude oil transport) i.e., aging increases



Variable surface areas



Ongoing research at Aalto University pavement laboratory

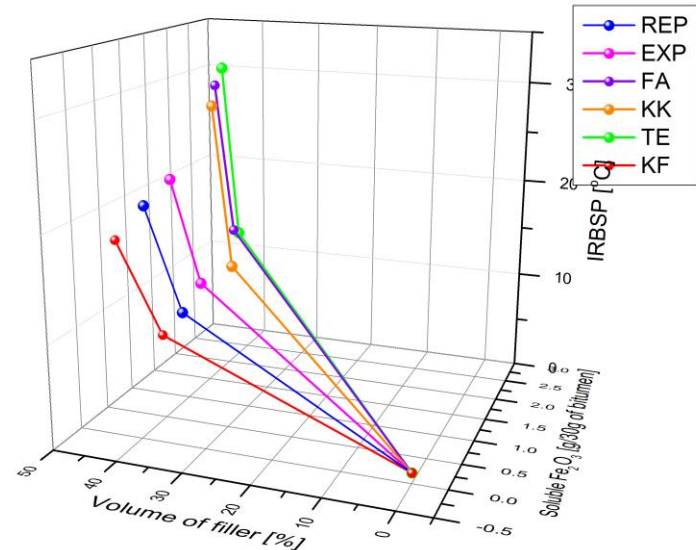


Pure bitumen

Pure bitumen
extracted

Bitumen mixed with fly
ash and then extracted

Research by Olli-Ville Laukkanen



$$\ln(\text{IRNBSP}) = b + a * \text{FETCH} * V_{af}$$

$$= b + a * \frac{30 * (\% \text{Fe}_2\text{O}_3) * m_F}{100 * m_B}$$

$$* \left(\frac{V_B + V_F - \frac{(V_F * 100)}{(100 - h_f)}}{V_B + V_F} \right) * 100$$

$$. . . \frac{30 * (\% \text{Fe}_2\text{O}_3) * m_F}{. . .}$$

Model proposed by M. Makowska