



**TIEN POHJA- JA
PÄÄLLYSRAKENTEET
TUTKIMUSOHJELMA
1994 - 2001**

Kohderaportti TPPT 28

Espoo, 4.12.2001

PT 12895 NAKKILA



Kyösti Laukkanen
Markku Pienimäki
Jari Pihlajamäki
Janne Sikiö

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



**Laukkanen, Kyösti, Pihlajamäki, Jari, Pienimäki, Markku, Sikiö, Janne: Nakkilan stabi-
lointikoetie 1999.** Espoo 1999, TPPT kohderaportti, Ra 3 Koerakenteiden rakentaminen,
seuranta ja tulokset.

Asiasanat: Koetie, bitumi, sementti, komposiitti, vaahtobitumi, EKB-bitumi,
masuunihiekka, stabilointi, kantava

Aiheluokka: 33, 42, 56

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää komposiittistabiloinnin lujuudenkehityksen nopeus verrattuna bitumistabiloinnin lujuudenkehitykseen sekä tuotteistaa komposiittistabilointimenetelmä työmaakäyttöön.

Tutkimus kohdistui ensisijaisesti komposiittistabilointimenetelmän toimivuuden ja ominaisuuksien selvittämiseen. Suppeammin tutkimuksessa käsiteltään vertailumenetelminä EKB-emulsio-, vaahtobitumi- ja masuunihiekkastabilointi. Tutkimuksen yhteydessä kehitettiin ja käytettiin ensi kertaa Suomessa tierakenteen kaukomittausysteemiä, jossa miehittämätön mittausasema mittaa automaattisesti koetien sidotun päällysrakenteen alle syntyvän jännityksen kuorma-auton ylittäessä mittauskohdan sekä lähettää mitaustiedon GSM:n välityksellä tutkijan tietokoneeseen.

Tutkimuksen mukaan jo vähäiselläkin (1 %) sementtipitoisuudella saavutetaan komposiittistabiloinnilla merkittävä alkulujuuden nopeutuminen verrattuna vaahtobitumistabilointiin. Yleisementti soveltuu kesällä paremmin stabilointityömaan työnjärjestelyn aikatauluun kuin Rapid-sementti, koska stabilointikerrosta ei ehditä saada tiivistetyksi ennen kuin Rapid-sementti alkaa sitoutua.

Korjaustoimenpide paransi tien kantavuutta huomattavasti. Korjauksen jälkeen pudotuspainolaitteella mitatut taipumat olivat enää suunnilleen puolet siitä, mitä ne olivat ennen korjausta. Tämä oli seurausta päällysrakenteen yläosan jäykkyyden kasvusta. Rakenteen yläosan suuri jäykkyys pienentää myös pohjamaan taipumaa, kun kuormitus jakaantuu laajemmalle alueelle.

Kaikilla tutkituilla rakenteilla tapahtuu lujittumista ajan kuluessa. Suurin jäykkyys on kokeen alusta lähtien ollut komposiittistabiloinnilla. Lujuuden kehittyminen näyttää olevan suunnilleen samanlaista kaikilla bitumistabiloinneilla ja lujittuminen on niillä suhteellisesti suurinta. Masuunihiekkastabilointi näyttää tarvitsevan pidemmän ajan lujuuden kehittymiseen.

Rakentamisen jälkeisenä syksynä (3,5 kuukautta rakentamisesta) todettiin mittauksin, että komposiittistabilointi jakoi jännityksen parhaiten ja leveimmälle alueelle. EKB-emulsiostabilointi ja vaahtobitumistabilointi toimivat keskenään suunnilleen samalla tavoin. Masuunihiekkastabiloinnin kyky jakaa jännitystä oli selvästi heikompi kuin muilla rakenteilla 100 päivän ikäisinä.

Seuraavien vuosien vastemittauksilla selvisi, että kaikkien muiden paitsi masuunihiekkastabiloinnin lujuus kasvoi edelleen, muttei yhtä nopeasti kuin ensimmäisenä syksynä. Erityisesti vaahtobitumistabiloinnin jännitysten jakokyky lisääntyi varsin selvästi vielä kahden vuoden ikäisenäkin. Sensijaan masuunihiekkastabiloinnin kyky jakaa jännitystä ei ole juurikaan lisääntynyt rakentamisen jälkeen.

Tutkimuksesta käy ilmi, ettei kyseisten rakenteiden jännitysten jakominaisuuksien kehittymistä pystytty havaitsemaan tavanomaisten pudotuspainolaitemittausten perusteella.

ALKUSANAT

Tien pohja- ja päällysrakenteet –tutkimusohjelman (TPPT) lopputulosten tavoitteena on entistä kestävämpien uusien ja perusparannettavien kestopäällystettyjen teiden rakentaminen siten, että myös rakenteiden vuosikustannukset alenevat. TPPT-ohjelmassa kehitettiin tierakenteiden mitoitusta (TPPT-suunnittelujärjestelmä). Suunnittelujärjestelmään kuuluvissa mitoitushjeissa ja menetelmäkuvauksissa esitetään ne menettelytavat ja keinot, joita käyttäen tierakenne voidaan kohdekohtaisesti suunnitella ja mitoittaa. TPPT-suunnittelujärjestelmään sisältyy myös päällysrakenteen elinkaarikustannustarkastelu, jonka suorittamiseksi esitetään menettelytapa.

Suunnittelujärjestelmälle on ominaista, että tierakenteen mitoitus tapahtuu paikkakohtaisilla tiedoilla ja parametreilla (liikenne, ilmasto, pohjamaa, käytettävät rakennemateriaalit, vanhat rakenteet). Mitoituksessa käytettävien pohjamaata ja rakennemateriaaleja koskevien parametrien määrittäminen tapahtuu ensisijaisesti laboratoriokokeilla tai maastossa tehtävin mittauksin ja tutkimuksin. Myös muiden mitoituksessa tarpeellisten lähtötietojen hankinnassa ja ongelmakohtien tai muutoskohtien paikannuksessa käytetään maastossa ja tiellä tehtäviä havaintoja ja mittauksia.

Suunnittelujärjestelmään kuuluvat oleellisena osana sitä täydentävät suunnittelun ja mitoituksen lähtötietojen hankintaa käsittelevät ”menetelmäkuvaukset”. Esitettävät menetelmät ja menettelytavat on todettu käyttökelpoisiksi käytännön havaintojen ja kokeiden perusteella.

TPPT-ohjelman tuloksena laaditaan myös yhteenveto ohjelmaan sisältyneistä, mitoitushjeiden laadinnassa hyväksikäytetyistä koerakenteista sekä yhteenveto tien rakennekerrosten materiaaleista ja niiden valintaan vaikuttavista tekijöistä.

Tämän kohderaportin ovat laatineet dipl.ins. Kyösti Laukkanen, dipl.ins. Jari Pihlajamäki, dipl.ins. Janne Sikiö ja dipl.ins. Markku Pienimäki VTT Rakenus- ja yhdyskuntatekniikasta.

Marraskuussa 2001

Markku Tammirinne

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
1.1	Tutkimuksen tausta	9
1.2	Tutkimuksen tavoite	9
2	TUTKIMUSKOHDDE	10
2.1	Tilanne ennen kunnostusta	10
2.2	Koealueet	13
3	SUHTEITUS	15
3.1	Komposiittistabilointimassan suhteitus	15
3.1.1	Proctor-kokeet	15
3.1.2	Optimisideainepitoisuuskokeet	16
3.1.3	Lujuus-, jäykkyys- ja pakkasenkestävyyskokeet	19
3.2	EKB-emulsiostabilointimassan suhteitus	22
3.3	Masuunihiekkastabilointimassan suhteitus	23
3.4	Vaahtobitumistabilointimassan suhteitus	24
3.4.1	Lisäbitumipitoisuuden vaihtelu tielinjalla	24
4	MITOITUS	26
4.1	Mitoitusperusteet	26
4.2	Komposiittistabilointi	27
4.3	Vaahtobitumistabilointi	28
4.4	EKB-emulsiostabilointi	28
5	RAKENTAMISOHJEET TYÖMAALLE	29
5.1	Komposiittistabilointikoealueet	29
5.1.1	Yleistä	29
5.1.2	Komposiittimassan koostumus	29
5.1.3	Kerrospaksuuden valinta	29
5.1.4	Komposiittistabilointikoealueiden rakentaminen	30
5.2	EKB-emulsiostabilointikoealueet	30
5.3	TIEL:n ohjekoostumukset	31
6	KOEALUEIDEN INSTRUMENTOINTI	32
7	RAKENTAMISEN TOTEUTUMATIEDOT	33
7.1	Yleistä	33
7.2	Komposiittistabilointikoealueet	33
7.2.1	Rakentamismenetelmä	33
7.2.2	Massan koostumus	33
7.2.3	Tiiveys	35
7.2.4	Halkaisuvetolujuus	36
7.3	EKB-emulsiostabilointikoealue	37
7.4	Vaahtobitumistabilointikoealue	37
7.5	Masuunihiekkastabilointikoealue	37

8	VALMIIN RAKENTEEEN LAATU	38
8.1	Jännitykset rakenteessa	38
8.2	Kantavuus	39
8.3	Päällyste	43
9	SEURANTAMITTAUKSET 2000...2001	45
9.1	Jännitykset rakenteessa	45
9.2	Kantavuus	49
9.3	Päällyste	52
10	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	54
11	KIRJALLISUUSVIITTEET	56

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Tutkimuksen lähtökohtina olivat aiemmat komposiittien kokeilukohteet sekä TPPT-projektissa tehdyt komposiittien laboratoriokokeet. Turun tiepiirissä aiemmin tehdyissä vanhan tien rakenteen parantamistöissä vanha öljysora-päällyste ja kantava kerros on sekoitettu keskenään stabilointijyrsimellä ja muodostunut seos sidottu käyttäen sideaineena mm. bitumiemulsiota ja sementtiä. Sementin käytön tavoitteena oli koekohteessa nopeuttaa stabiloinnin lujuuden kehittymistä, [1], [2].

TPPT-projektin yhteydessä tehtiin laboratoriossa materiaalitutkimuksia komposiittimenetelmällä, jossa sidotaan kantavan kerroksen kiviaines käyttäen sideaineena bitumiemulsiota ja sementtiä. Massasta on tutkittu mm. jäykkyys-, pakkasenkestävyys- ja väsymisominaisuudet, [3], [4]. Tällainen komposiitti muodostaa jäykän rakenteen, jonka lujuusominaisuuksia voidaan säätää sementtipitoisuudella. Epätasaisesti routivilla alustoilla sementtimäärä ei saa nousta niin suureksi, että se tekee rakenteesta liian joustamattoman.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli

- selvittää komposiittistabiloinnin rakentamisen jälkeen tapahtuvan lujuudenkehityksen nopeus verrattuna bitumistabiloinnin lujuudenkehitykseen
- tuotteistaa komposiittistabilointimenetelmää siten, että rakenteen parantamishankkeen eri kohdista saadaan työmaan käyttöön ko. kohtiin sopivat massan täsmäsuhteitukset ja kerrospaksuudet.

2 TUTKIMUSKOHDE

2.1 Tilanne ennen kunnostusta

Koerakennuskohde oli Tattaran paikallistie (pt 12895) Nakkilassa. Tien vanha päällyste oli öljysora ja KVL 310 ajon/vrk. Tiellä (plv 750-1650) oli tehty mm. routanousu-, kantavuus- ja maatutkamittauksia. Koetien paalumerkinät vastaavat tierekisterin mukaisen osoitteen etäisyyslukemaa tieosan 1 alusta.

Maatutka- ja koekuoppamittausten mukaan tien päällysrakenteen paksuus oli 350-500 mm. Kevätkantavuus oli pienimmillään 70-90 MPa. Maatutkan mukaan paaluvälillä 480-2600 m on pääsääntöisesti kaksi vanhaa öljysora-kerrosta ja niiden välissä soramurskekerros. Plv:llä 0-480 m oli maatutkan mukaan vain yksi vanha ÖS-kerros.

Koetiellä todettiin mittauksin talvella 1997/98 huomattavaa routanousua. Routanousua voidaan rajoittaa kerrospaksuutta lisäämällä tai routaeristeillä.

Koetien päällysrakenteen kerrosrajat ja -paksuudet olivat keväällä 1999 ennen stabilointia komposiittikoealueen kohdalla koekuoppamittausten mukaan taulukon 1 ja kuvan 1 mukaiset.

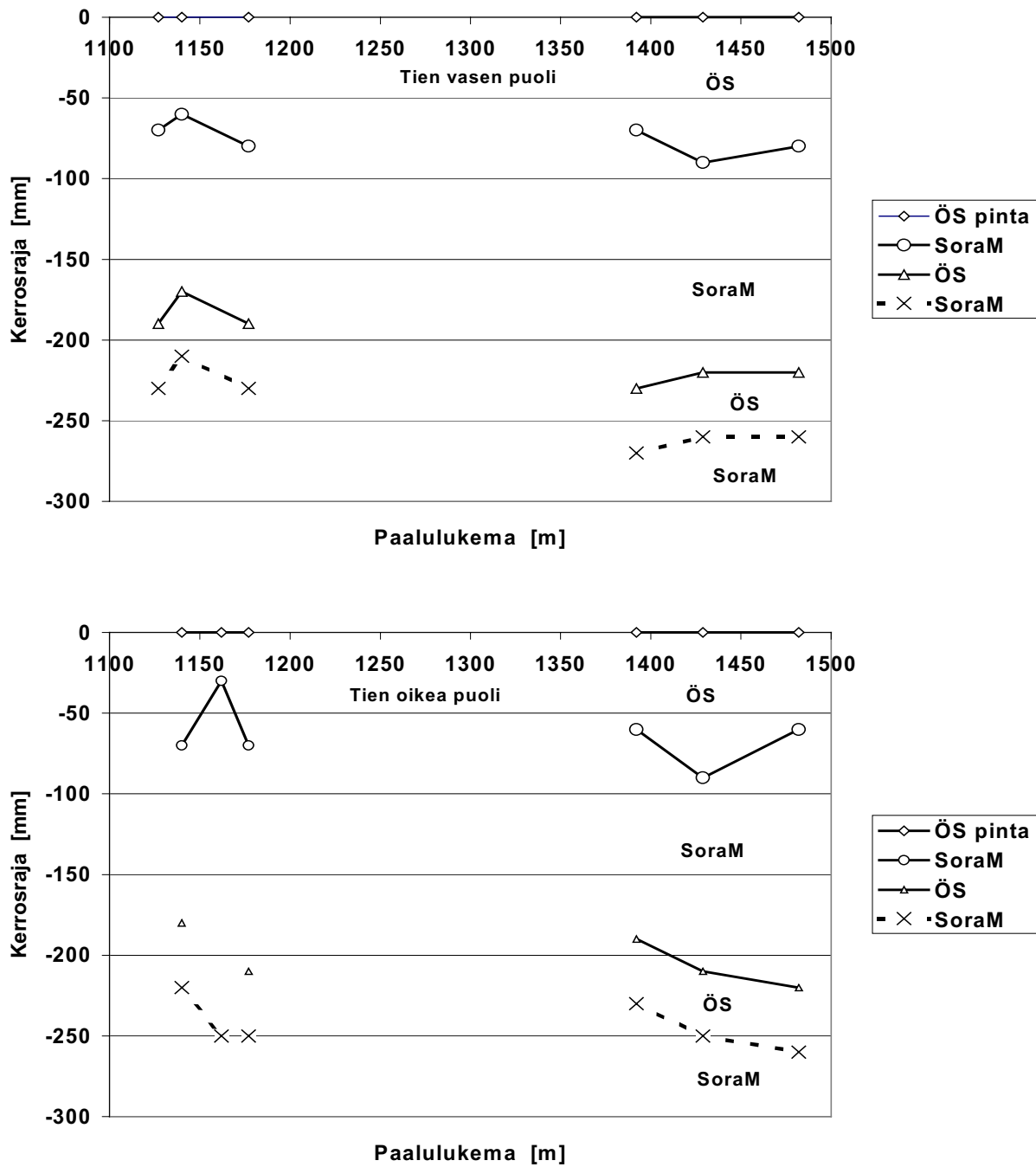
Koekuoppamittausten mukaiset kerrospaksuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin maatutkamittausten tulokset.

Koetieltä aiempina vuosina tehdyistä pudotuspainomittausten tuloksista paaluväliä 750...1650 on esitetty yhteenveto kuvassa 2. Paras kantavuus on paaluvälillä 1050...1150. Paaluväli 1250...1650 on mittausten mukaan kantavuudeltaan suhteellisen tasalaatuista ja sellaisena koealueiden keskinäiseen vertailuun soveltuva.

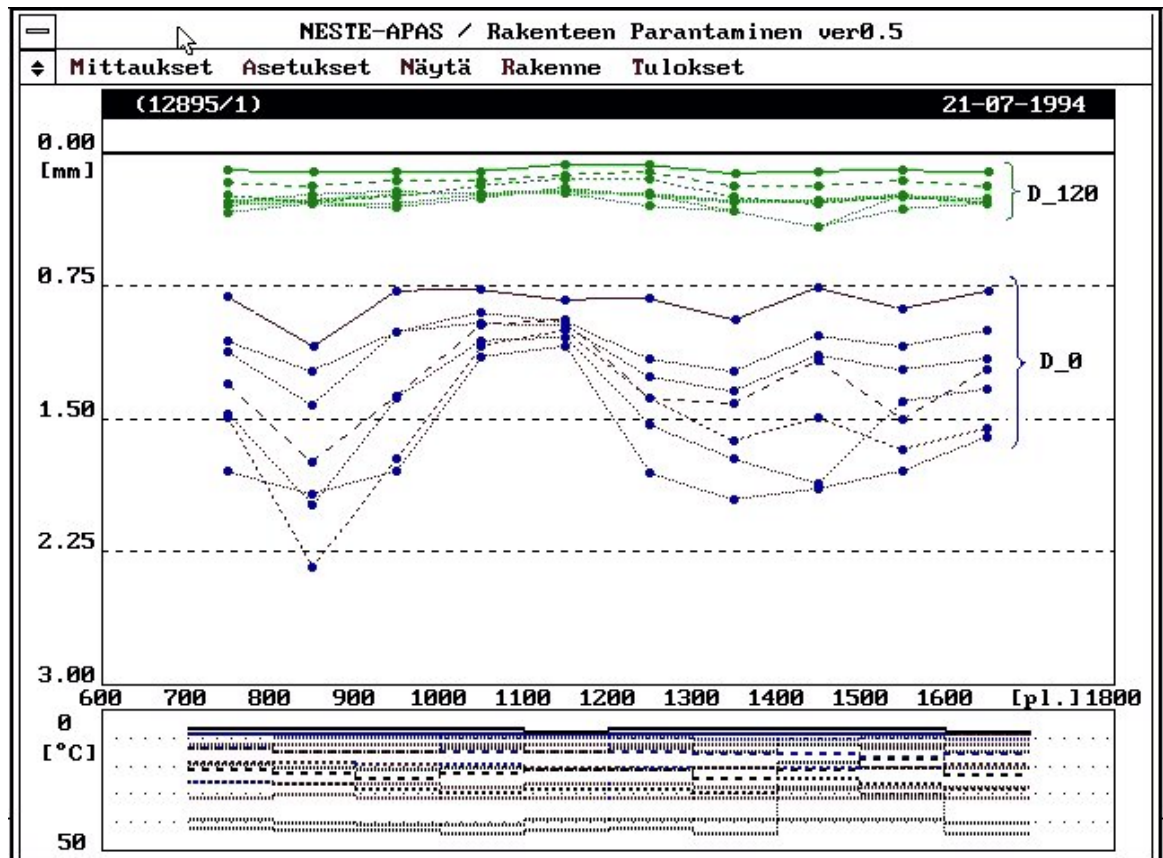
Taulukko 1. Päällysrakenteen kerrokset ennen stabilointia koekuoppamittausten mukaan.

OIKEA PUOLI					VASEN PUOLI				
Paalu	Etäisyys reunasta m	Kerros- mater.	Etäisyys pinnasta mm	Kerros- paksuus mm	Paalu	Etäisyys reunasta m	Kerros- mater.	Etäisyys pinnasta mm	Kerros- paksuus mm
					1127	1,0	ÖS	0-20	20
							VanhaÖs	20-70	50
							SoraM	70-190	120
							ÖS	190-230	40
							SoraM		
1140	1,7	ÖS	0-40	40	1140	1,0	ÖS	0-40	40
		VanhaÖs	40-70	30			VanhaÖs	40-60	20
		SoraM	70-180	110			SoraM	60-170	110
		ÖS	180-220	40			ÖS	170-210	40
		SoraM					SoraM		
1162	1,0	ÖS	0-30	30					
		VanhaÖs		ei					
		SoraM	30-250	220					
		ÖS		ei					
		SoraM							
1177	1,7	ÖS	0-40	40	1177	1,0	ÖS	0-30	30
		VanhaÖs	40-70	30			VanhaÖs	30-80	50
		SoraM	70-210	140			SoraM	80-190	110
		ÖS	210-250	40			ÖS	190-230	40
		SoraM					SoraM		
1392	1,0	ÖS	0-40	40	1392	1,3	ÖS	0-50	50
		VanhaÖs	40-60	20			VanhaÖs	50-70	20
		SoraM	60-190	130			SoraM	70-230	160
		ÖS	190-230	40			ÖS	230-270	40
		SoraM					SoraM		
1429	1,0	ÖS	0-40	40	1429	1,2	ÖS	0-50	50
		VanhaÖs	40-90	50			VanhaÖs	50-90	40
		SoraM	90-210	120			SoraM	90-220	130
		ÖS	210-250	40			ÖS	220-260	40
1482	1,5	ÖS	0-40	40	1482	0,5	ÖS	0-40	40
		VanhaÖs	40-60	20			VanhaÖs	40-80	40
		SoraM	60-220	160			SoraM	80-220	140
		ÖS	220-260	40			ÖS	220-260	40
		SoraM					SoraM		
Paalulla 1148-1162 komposiittistabilointialueella on korjattu rumpu									

Koeosuuksien paalulukemat vastaavat tierekisterin mukaista etäisyyttä tieosan 1 alusta.



Kuva 1. Päällysrakenteen kerrosrajat ennen stabilointia komposiittikoealueiden kohdilla (koekuoppien mukaan).



Kuva 2. Koetien pudotuspainomittausten taipumatuloksia ennen kunnostusta v. 1991-96.

2.2 Koealueet

Kohde oli Tielaitoksen päällystysohjelmassa kesällä 1999. Kohteen kunnostukseen varattu rahoitus ja toteutusaikataulu ei riittänyt routasuojausten tekemiseen ja tästä syystä kohde kunnostettiin stabilointitekniikalla käyttäen useita eri stabilointimenetelmiä.

Koealuevaihtoehdot valittiin taulukon 2 mukaan. Ne on esitetty myös liitteen 1 kuvassa. Stabilointikerroksen paksuuteen vaikuttavat mm. kantavuus, päällysteen paksuus ja kuivatus. Stabilointisyvyyden tulee ulottua vähintään 30-50 mm sitomattomaan kerrokseen. Stabiloinnin alla tulee olla vettä pois johtavaa kiviainesta vähintään 50 mm. TIEL:n ennakolta tekemän pintakerrosten rakeisuusselvityksen perusteella ja kustannussyistä päätettiin stabilointirakenteet toteuttaa ilman muualta tuotavaa lisäkiviainesta.

Komposiittistabilointikoealueita (KOST) varten VTT teki ennakkokokeet ja valitsi massan koostumuksen.

Vaahtobitumistabilointikoealueet (VBST) ovat ns. TIEL:n normaaliratkaisujen vertailurakenteita ja niille koostumuksen valitsi Tielaitos.

Taulukko 2. Koeosuudet.

Plv / menetelmä	Menetelmä	Plv/ olosuhde	Olosuhde
0-700	Vaahtobitumistabilointi	0-700	
700-900	Vaahtobitumistabilointi (syväjyrsintä 350 mm)	700-900	suuri routanousu reunapainumaa paljon verkkohalk. kantav. parant.
900-1100	Vaahtobitumistabilointi	900-1050	
1100-1200	Komposiittistabilointi	1050-1100	vähän routiva
1200-1310	EKB-emulsiostabilointi	1100-1200	vähän routiva
1310-1380	Vaahtobitumistabilointi	1200-1250	vähän routiva
1380-1520	Komposiittistabilointi	1250-1310	kantav. parant.
1520-1600	Vaahtobitumistabilointi + Kevytsora	1310-1380	kantav. parant.
1600-2600	Masuunihiekkastabilointi	1380-1430	kantav. parant.
		1430-1520	ei kant. parant.
		1520-1600	ei kant. parant. suuri routanousu
		1600-1650	suuri routanousu
		1650-2600	ei kant. parant.

Vaahtobitumistabilointi+kevytsora oli mukana vertailukoerakenteena, jossa bitumilla stabiloitavaan kerrokseen sekoitettiin kevytsoraa ja koko kerros vaahtobitumistabiloitiin. Tällaisen kerroksen lämmöneristyskyky ei luonnollisesti ole yhtä hyvä kuin erillisen kevytsorakerroksen ja kevytsorarakkeet saattavat osittain rikkoutua stabilointityön aikana. Kevytsoravaihtoehdon massan koostumuksen valitsi Tielaitos.

Paaluvälillä 700-900 suoritettiin esijyrsintä muista koealueista poiketen läpi molempien vanhojen öljysorakerrosten 350 mm syvyyteen. Esijyrsinnän jälkeen rakenne muotoiltiin ja tiivistettiin. Stabilointijyrsintä suoritettiin vain stabiloitavaan syvyyteen 150 mm, (taul. 16).

Muilla kohdilla (paitsi plv:llä 700-900) alempaa ÖS-kerrosta ei rikottu ja vain ylempi ÖS-kerros ja sen alla oleva murskekerros jyrsittiin ja stabiloitiin. Kulakin menetelmällä rakennetut pituudet on esitetty taulukon 2 vasemmassa sarakkeessa ja eri "olosuhteiden" pituudet kolmannessa sarakkeessa.

EKB-emulsiostabilointi (EKBEST) tehtiin Fortum Oil and Gas Oy:n ohjeiden mukaan.

Koetien loppupää (plv 1600-2600) stabiloitiin masuunihiekkastabilointimenetelmällä (MHST) TIEL:n Oulun päällystysyksikön ohjeiden mukaan.

3 SUHTEITUS

3.1 Komposiittistabilointimassan suhteitus

Suhteitustavoitteet

Komposiitin suhteitustavoitteet olivat

- Halkaisuvetolujuus 60 – 100 kPa (1 d, +23 °C), ensisijainen tavoite
- Massa on pakkasenkestävää
- Stabilointinäytteiden tyhjätila 10-15 % (laboratoriossa).

Massan valmistus

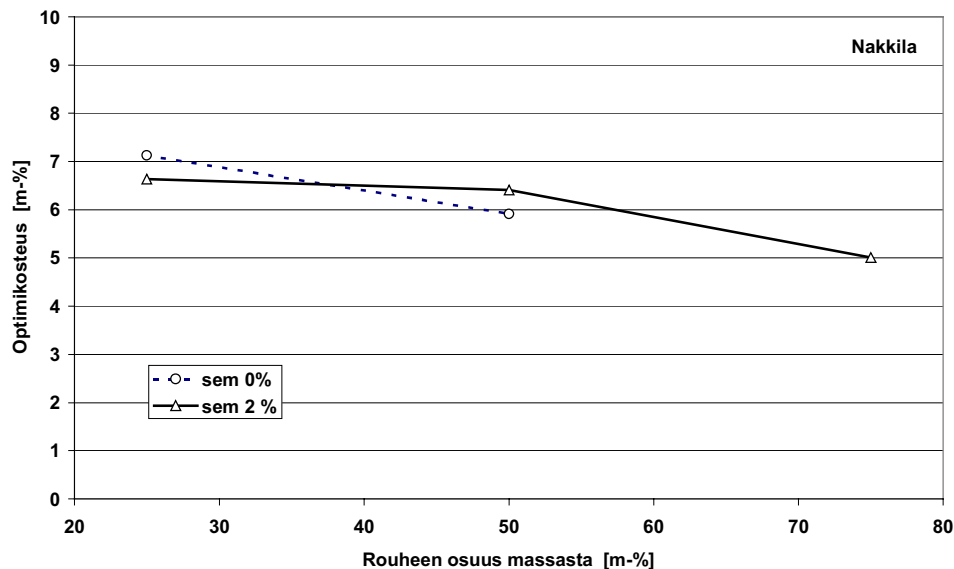
Suhteituskokeiden komposiittimassan raaka-aineet olivat nykyisen tien materiaalit (ÖS-rouhe ja kantavan kerroksen murske 0-35 mm) ja Rapid-sementti, B200-bitumi ja vesi. Muuttujina suhteituksessa olivat rouheen osuus massasta, jota kutsutaan RC-prosentiksi (vaihtoehdot 25 %, 50 % ja 75 %), sementti- ja lisäbitumipitoisuus. Rapid-sementti valittiin sideaineeksi, koska ensisijainen sementin käytön tavoite oli nopea alkulujuuden kehitys.

Massa valmistettiin laboratoriosekoittimessa. Ensin sekoitettiin kiviainekset ja sementti keskenään. Sen jälkeen lisättiin tarvittava lisävesi ja sekoitettiin jälleen. Lopuksi lisättiin bitumi vaahdotettuna ja sekoitettiin jälleen.

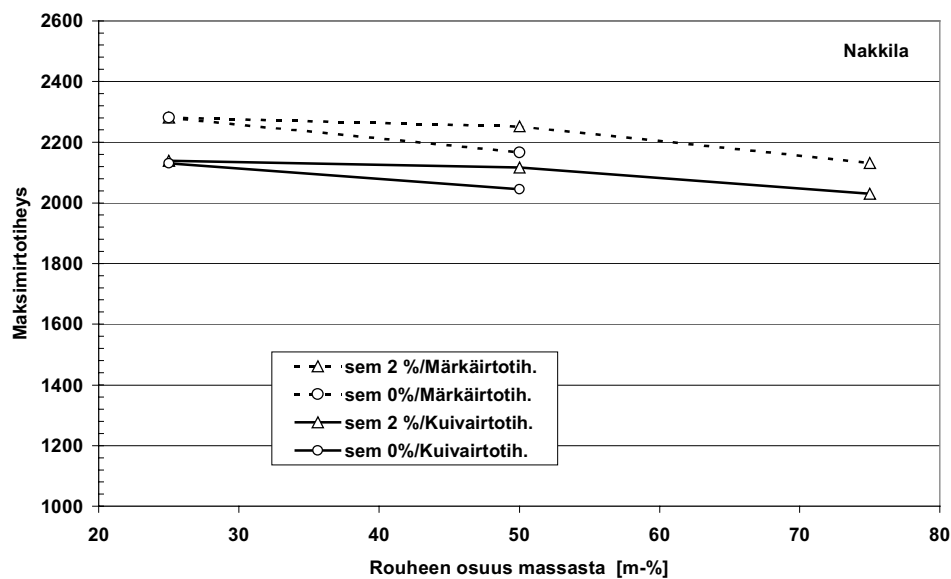
Valitut koostumukset esitetty rakeisuuskuvissa liitteissä 2-4. Vertailun vuoksi kuvissa on esitetty koetien rakentamisaikana voimassa olleiden asfalttiorimien mukainen bitumistabiloinnin ohjerakeisuusalue ja norjalainen vaahtobitumistabiloinnin ohjerakeisuusalue, [6]. Koostumustaulukoissa kiviainesten osuudet on ilmoitettu prosentteina kuivan runkoaineen painosta. Sementtipitoisuus ja vesipitoisuus on ilmoitettu prosentteina kuiva-ainesten (kuiva runkoaines+sementti) painosta.

3.1.1 Proctor-kokeet

Proctor-kokeita tehtiin 5 sarjaa. Muuttujina olivat rouhepitoisuus (RC= 25 %, 50 % ja 75 %) sekä sementin määrä (0 ja 2 %). Optimikosteuden riippuvuus massan koostumuksesta on esitetty kuvassa 3 ja maksimi-irtotiheydet kuvassa 4.



Kuva 3. Komposiittimassan optimikosteuden riippuvuus kiviaineskoostumuksesta ja sementtipitoisuudesta suhteituskokeissa.



Kuva 4. Komposiittimassan kuiva- ja märkäirtotiheyden maksimin riippuvuus massan koostumuksesta suhteituskokeissa.

3.1.2 Optimisideainepitoisuuskokeet

Optimisideainepitoisuuskokeet tehtiin kahdeksalla erilaisella taulukon 3 mukaisella massan koostumuksella.

Taulukko 3. Optimisideainepitoisuuskokeiden koemassat.

		Massan koostumusvaihtoehdot 1 - 8							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ÖS-rouhetta (tieltä)	m-%	25	25	25	25	25	50	50	75
Mursketta (0-35mm)	m-%	75	75	75	75	75	50	50	25
Rapid-sementtiä	m-%	0	1	1	1	2	1	1	1
Teor. lisäbit.tarve c	m-%	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,4	2,4	2,0
Valittu lisäbitumipit.	m-%	c	c-0,5	c	c+0,5	c	c	c+0,5	c
Valittu lisäbitumipit.	m-%	2,9	2,4	2,9	3,4	2,9	2,4	2,9	2
Optimikosteus	m-%	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,2	6,2	5,0
Valittu vesipitoisuus	m-%	4,3	4,8	4,3	3,8	4,3	4,1	3,6	3,3

Kiviainesten osuudet ilmoitettu prosentteina kuivan runkoaineksen painosta.

Sementti- ja vesipitoisuus ilmoitettu prosentteina kuiva-ainesten (kuiva runkoaines+sementti) painosta.

Vaahdotumistabilointiin teoreettisesti tarvittava lisäsideainemäärä on laskettu TIEL:n Bitumistabilointiohjeen mukaisella kaavalla 1, [5]. Lisätty bitumi B200 vaahdotettiin. Valittu vesipitoisuus on saatu lisäämällä optimikosteuden ja valitun lisäbitumipitoisuuden erotukseen luku 0,3.

$$c = 0,1 * p + 2,8 - k * \frac{RC}{100} * b \quad (1)$$

p = kiviaineksen 0,074 mm läpäisyarvo

RC = vanhan ÖS-rouheen osuus kiviaineksestä (25 tai 50 tai 75 %)

b = vanhan ÖS-rouheen sideainepitoisuus (4,1 %)

k = ÖS-rouheen sitoutumiskerroin (0,5)

Aluksi selvitettiin kahden taulukon 3 mukaisen massan tiivistettävyyden isolla ICT:llä ja saatiin taulukon 4 mukaiset tulokset.

Taulukko 4. Komposiittimassan tiiveyden riippuvuus ICT-kierrosmäärästä.

Tiiveys % parannetusta Proctor-tiiveydestä	ICT-kierrosmäärä [kpl]	
	Koostumus 3	Koostumus 6
%		
92	9-12	3
95	18-25	
97	32	20
100	73-97	25

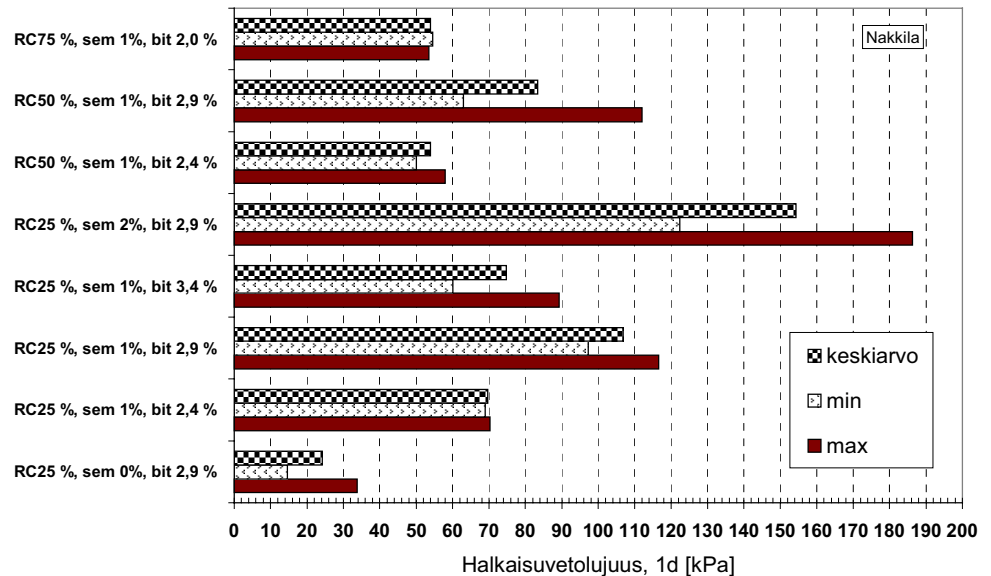
Komposiittimassa tiivistyi helposti Proctor-tiiveyteen, jota jatkossa käytettiin näytevalmistuksen tavoitetiiveytenä. Tutkittavat näytteet tiivistettiin Kango-vasaralla kolmessa kerroksessa siten, että kunkin kerroksen tiivistysaika oli 30 s ($D = h = 150$ mm).

Tyhjätilat määritettiin laskennallisesti raaka-aineiden tiheyksien ja punnitusten perusteella (PANK 4114). Kangolla tiivistettyjen näytteiden tyhjätilat neljällä massan koostumuksella on esitetty taulukossa 5. Tyhjätilat ovat korkeampia kuin tavoitearvo.

Taulukko 5. Komposiittimassan Kangolla tiivistettyjen näytteiden tyhjätiloja.

Koostumus		Tyhjätila [%]		
		Näyte a	Näyte b	keskiarvo
4	RC 25%, sem 1%, lisäbit. 3,4	16,9	20,0	18,4
5	RC 25%, sem 2%, lisäbit. 2,9	15,1	17,6	16,4
6	RC 50%, sem 1%, lisäbit. 2,4	14,6	15,2	14,9
8	RC 75%, sem 1%, lisäbit. 2,0	14,8	15,7	15,2

Halkaisuvetolujuuskokeissa 1 vrk:n ikäisillä näytteillä +23 °C:n lämpötilassa saatiin kuvan 5 mukaiset tulokset.



Kuva 5. Halkaisuvetolujuuden riippuvuus massan koostumuksesta (1d/23 °C).

Kun rouhepitoisuus oli 25 %, saavutettiin suhteitustavoite taulukon 3 koostumuksilla 2 ja 4 (sementti 1 % + lisäbitumi 2,4 tai 3,4 %). Kun rouhepitoisuus oli 50 %, suhteitustavoite saavutettiin koostumuksella 7 (sementti 1 % + lisäbitumi 2,9 %).

3.1.3 Lujuus-, jäykkyys- ja pakkasenkestävyyskokeet

Massan koostumus

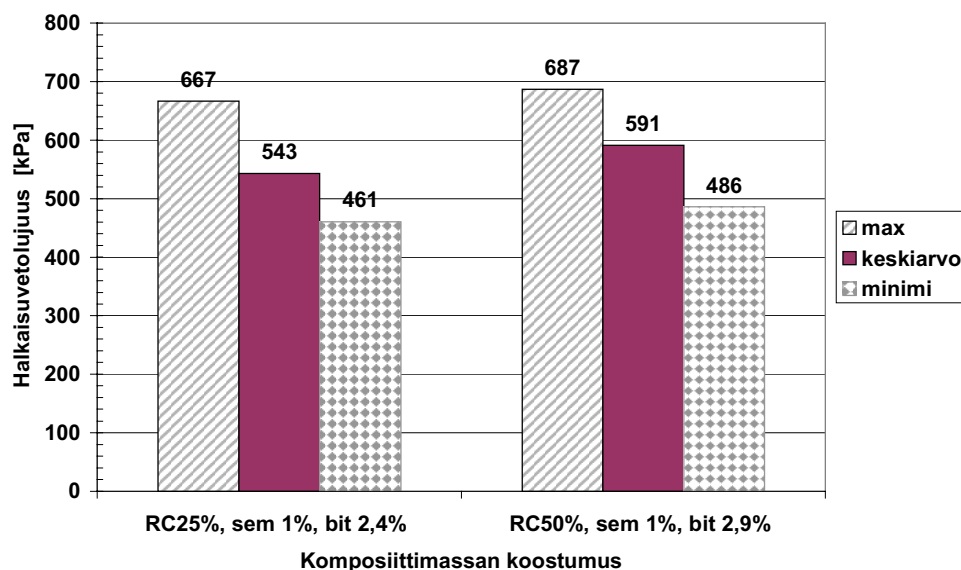
Optimisideainepitoisuuskokeiden perusteella valittiin halkaisuvetolujuus-, jäykkyys- ja pakkasenkestävyyskokeisiin taulukon 6 mukaiset massat.

Taulukko 6. Koemassojen koostumukset jäykkyysmoduuli-, pakkasenkestävyys- ja lujuuskokeissa.

Koostumusvaihtoehto		A	B
ÖS-rouhe (tieltä)	m-%	25	50
Murske (tieltä 0-35mm)	m-%	75	50
Rapid-sementtipitoisuus	m-%	1	1
Valittu lisäbitumipit.	m-%	2,4	2,9
Optimikosteus	m-%	6,9	6,2
Valittu vesipitoisuus	m-%	4,8	3,6

Halkaisuvetolujuus 28 d

Komposiittimassan halkaisuvetolujuus 28 vrk:n iässä tutkittiin lämpötilassa +10 °C kahdella massan koostumuksella menetelmän PANK 4202 mukaan. Näytteiden korkeus ja läpimitta olivat 150 mm. Näytteet tiivistettiin Kango-vasaralla kolmessa kerroksessa siten, että kunkin kerroksen tiivistysaika oli 30 s (D= h=150 mm). Halkaisuvetolujuuskokeen tulokset on esitetty kuvassa 6.



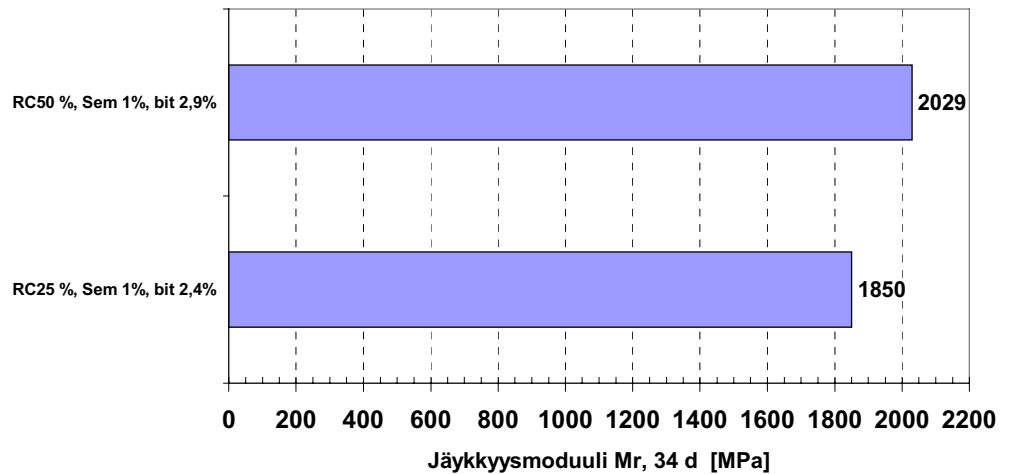
Kuva 6. Komposiittimassojen halkaisuvetolujuuden (28 d/ +10 °C) riippuvuus koostumuksesta.

Jäykkyysmoduuli

Jäykkyysmoduulinäytteiden näytekorkeus oli 300 mm ja halkaisija 150 mm.

Näytteet tiivistettiin Kango-vasaralla kuudessa kerroksessa siten, että kunkin kerroksen tiivistysaika oli 30 s.

Jäykkyysmoduulit tutkittiin 1-aksaaliseen puristukseen perustuvalla kokeella +15°C lämpötilassa. Jäykkyysmoduulitulokset on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Komposiittimassojen jäykkyysmoduulit ($T = +15\text{ °C}$).

Pakkasenkestävyys

Pakkasenkestävyyskokeen näytteet valmistettiin samalla tavoin kuin halkaisuvetolujuuskokeen näytteet. Pakkasenkestävyys kahdella massan koostumuksella tutkittiin menetelmän SFS 5447 mukaisella jäädytys-sulatuskokeella. Kokeessa syklien määrä oli 26 kpl ($-20\text{ °C} / +20\text{ °C}$).

Taulukossa 7 on esitetty pakkasenkestävyyskokeen tulokset (puristuslujuus $+20\text{ °C}$:ssa vanhennettuna ja ilman vanhennusta sekä massan muutos kokeen aikana). Betonitekniikassa pidetään pakkasenkestävyyskokeen hyväksymisrajana yleisesti enintään 33 % lujuuden alenemista. Tämän kriteerin mukaan 25 % asfalttirouhetta sisältävä massa oli pakkasenkestävää, mutta 50 % rouhetta sisältävä massa alitti lievästi (yhdeällä prosenttiyksiköllä) pakkasenkestävyysrajan.

Runsaammin rouhetta ja bitumia sisältävä massa oli siten heikompaa pakkasenkestävyydeltään. Rouhepitoisuuden noustessa murskeen hienopään ”sitomattoman” kiviaineksen osuus massassa väheni, mikä todennäköisesti heikensi sementtilaastin pakkasenkestävyyttä ja johti komposiitin pakkasenkestävyyden alenemaan. Massan pakkasenkestävyyden parantaminen edellyttäisi lisäkiviaineksen lisäämistä massaansa. Kun otettiin huomioon taloudelliset näkökohdat, pakkasenkestävyyden vähäinen alitus ja rakentamisaikataulu, ei lisäkiviaineksen käyttö kohteessa ollut tarkoituksenmukaista.

Pakkasenkestävyyden kannalta 25 % rouhetta sisältävä koostumus A olisi parempi vaihtoehto. Kun otettiin huomioon vanhan öljysorakerroksen paksaus, jouduttiin kuitenkin valitsemaan rouhepitoisuus 50 % eli koostumus B (ks. kohta 5).

Taulukko 7. Puristuslujuuden ja massan muutos jäädytys-sulatuskokeessa (koostumukset A ja B).

	Näyte	Puristus-	Suhteellinen massan muutos		
		lujuus	0 sykliä	11 sykliä	26 sykliä
		MPa	%	%	%
Vanhennettu	A4	1,51	100	98,1	97,3
	A6	1,50	100	99,2	98,7
	A7	1,93	100	99,4	98,8
	ka	1,65	100	98,9	98,3
Vanhentamaton	A8	...	100	100,1	99,9
	A9	2,03	100	100,1	100,1
	A10	1,98	100	100,1	100,0
	ka	2,00	100	100,1	100,0
A lujuuden muutos %		18			
Vanhennettu	B16	1,21	100	99,1	96,6
	B17	1,03	100	99,0	97,7
	B19	1,13	100	99,0	95,8
	ka	1,12	100	99,0	96,7
Vanhentamaton	B20	1,75	100	100,0	100,0
	B21	1,79	100	100,0	100,0
	B22	1,62	100	100,0	100,0
	ka	1,72	100	100,0	100,0
B lujuuden muutos %		34			

3.2 EKB-emulsiostabilointimassan suhteitus

Suhteituskokeiden koekappaleet (D= 150 mm) valmistettiin kiertotiivistimellä tieltä saadusta kiviaineksesta. Tavoitteena oli selvittää massan

- tiivistyvyyttä (ICT-tiivistys)
- lujuusominaisuuksia (halkaisuvetolujuus)
- "vesiherkkyyttä" (erilaisia säilytystapoja).

Koekappaleita testattiin kolmen rinnakkaisnäytteen sarjoina 5,5 ja 7,0 % vesipitoisuuksissa (ilman emulsiiovettä) sekä 3,2 ja 3,5 % bitumipitoisuuksissa (jäävänä bitumina). Näytesarjoja säilytettiin erilaisissa olosuhteissa seuraavasti:

- 7 vrk kuivasäilytys normaalissa huonetilassa
- 7 vrk märäsäilytys muovipussissa
- 7 vrk kuivasäilytys & 1 vrk vesi-imeytys vesialtaassa
- 7 vrk kuivasäilytys & 7 vrk vesi-imeytys vesialtaassa.

Taulukko 8. EKB-emulsiostabilointimassan halkaisuvetolujuus (kN/m^2)
suhteituskokeissa, (+10 °C)

Näytteen käsittely	Uutta bitumia (%) ¹	
	3.2	3.5
kuivasäilytys 7 vrk		
lisä- 5.7	292	262
vesi (%) 7.0	277	224
märkäsäilytys 7 vrk		
lisä- 5.7	43	37
vesi (%) 7.0	45	83
kuivasäilytys & imeytys 1 vrk		
lisä- 5.7	221	204
vesi (%) 7.0	243	–
kuivasäilytys & imeytys 7 vrk		
lisä- 5.7	188	165
vesi (%) 7.0	142	–

1 jäävää bitumia

- tiivistetty ICT:llä (100 kierrosta, 40 mrad liikekulma)
- säilytyslämpötila +22 °C
- vanhan ÖS:n bitumi on mukana massassa (ei huomioitu bitumi-%:ssa, lisäisi n. 1 %)
- lisävedessä ei mukana emulsiovetä (emulsiovesi nostaa vesipitoisuutta n. 1 %).

3.3 Masuunihiekkastabilointimassan suhteitus

Masuunihiekkakoealueen massan suhteitti Tielaitoksen Oulun Projekt- ja päällystysyksikkö. Tietoja suhteituskoenäytteiden puristuslujuuskokeiden tuloksista on liitteessä 11.

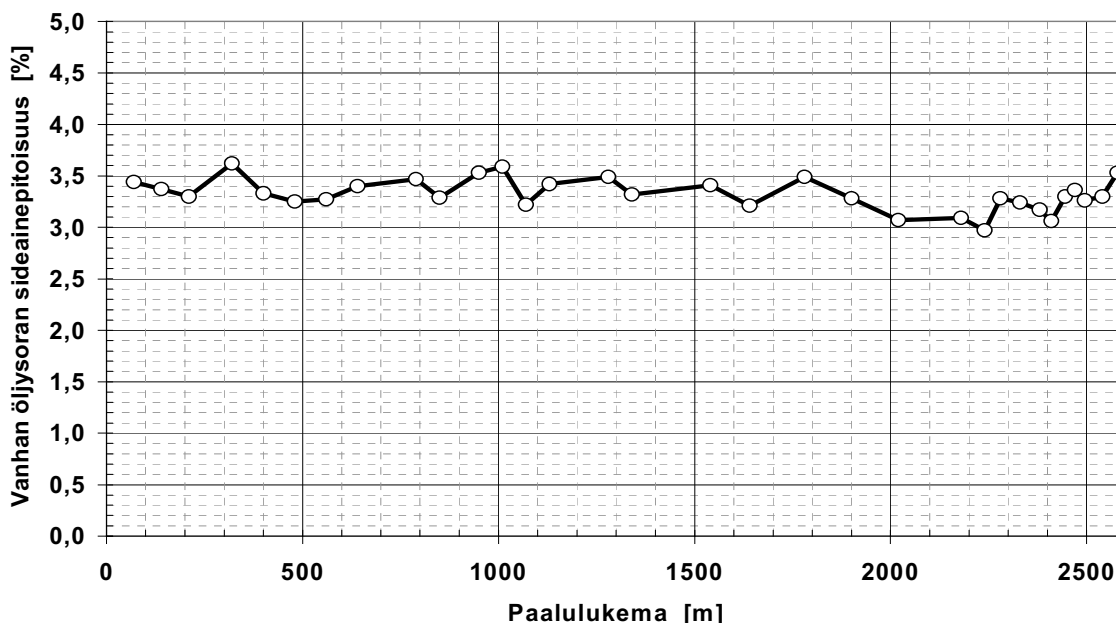
3.4 Vaahtobitumistabilointimassan suhteitus

3.4.1 Lisäbitumipitoisuuden vaihtelu tielinjalla

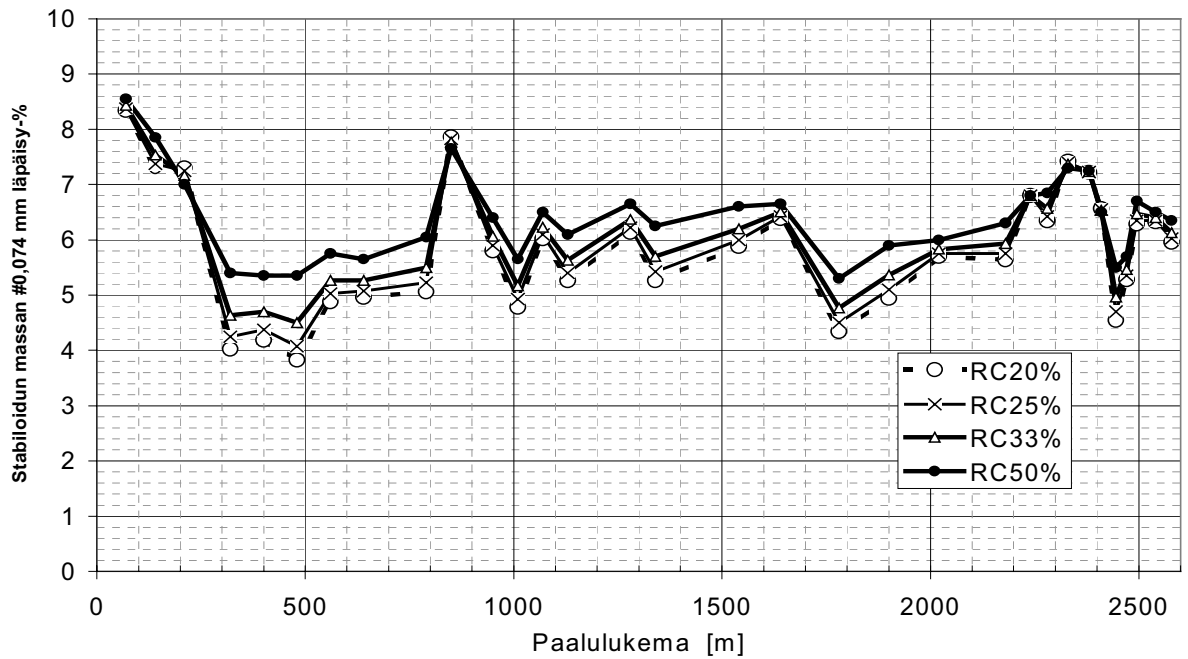
Tielaitos oli tutkinut vanhan tien kulutuskerroksen rakeisuuden ja sideainepitoisuuden sekä kantavan kerroksen murskesoran rakeisuuden noin 80 m välein. Öljysoran sideainepitoisuus vaihteli välillä 3,0...3,6 m-%, kuva 8. Hienoainesmäärä vaikuttaa merkittävästi stabilointimassan sideainetarpeeseen. Kuvassa 9 on esitetty laskennallisesti määritetty stabilointimassan hienoainespitoisuus eri tienkohdissa, kun rouheen osuus on 20-50 %.

Bitumistabilointiin teoreettisesti tarvittava lisäsideainetarve tien eri poikkileikkauksissa ja massan eri rouhepitoisuuksilla laskettiin rakeisuustulosten #0,074 mm seulan läpäisyarvojen ja vanhan öljysoran sideainepitoisuuksien perusteella kohdassa 3.1.2 esitetyn kaavan 1 avulla. Lisäsideainetarpeen vaihtelu on esitetty kuvassa 10 sekä liitteen 5 taulukossa. Laskelma on tehty koko tielinjalle, vaikka tulosta hyödynnetään tällä koetiellä vain vaahtobitumistabilointiosuuksilla. Tulosten perusteella voitiin valita vaahtobitumistabiloinnin sideainepitoisuus eri tienkohdissa. Laskelman tarkkuus on yhtä luotettava kuin Bitumistabilointiohjeen mukainen kaava 1, [5].

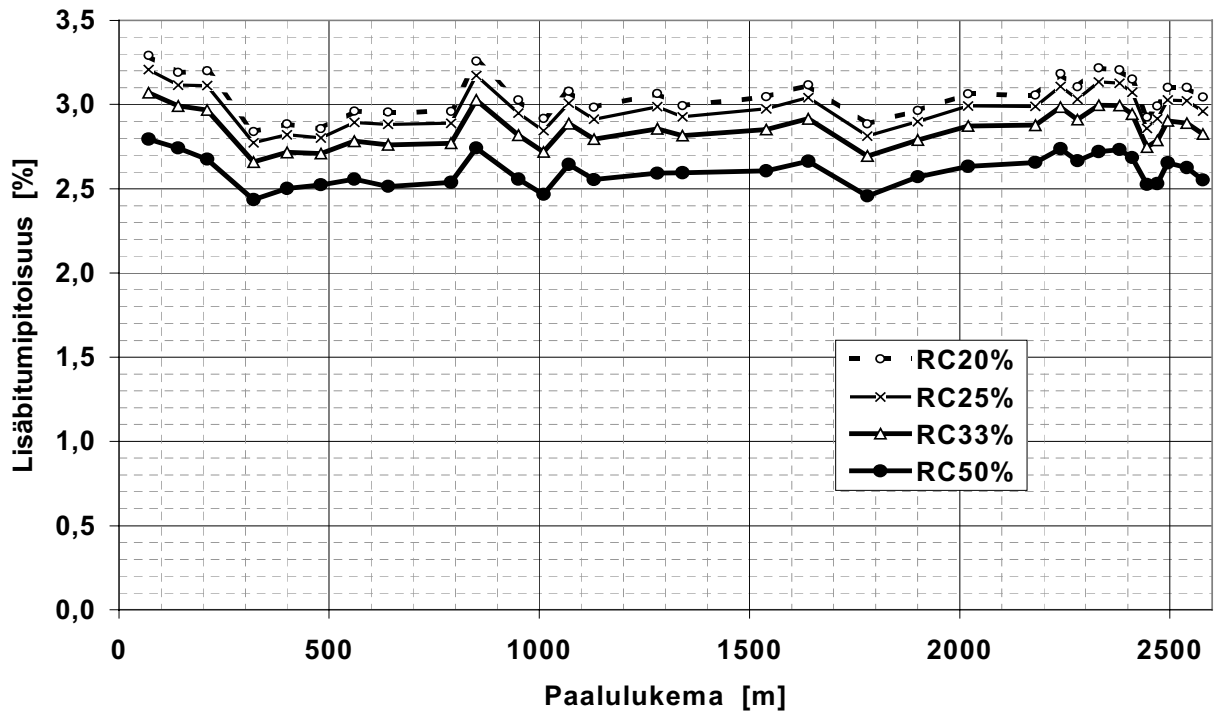
Tielaitoksen Projekti- ja päällystysyksikkö suhteitti vaahtobitumistabilointimassat kokemuseräisesti käyttäen hyväksi laskelmia lisäbitumitarpeesta. Ohjeet vaahtobitumimassojen koostumuksesta on esitetty taulukossa 16. Yhdellä koeosuudella käytetty kevytsora oli rakeisuudeltaan 4-32 mm. Kevytsoran teknisiä tietoja on liitteessä 6.



Kuva 8. Vanhan öljysoran sideainepitoisuuden vaihtelu tielinjalla ennen kunnostusta.



Kuva 9. Stabiloidun massan hienoainespitoisuuden riippuvuus rouhepitoisuudesta eri tienkohdilla.



Kuva 10. Tarvittavan lisäbitumimäärän riippuvuus rouhepitoisuudesta tielinjalla (jos koko kohde tehtäisiin vaahtobitumistabiloimalla).

4 MITOITUS

4.1 Mitoitusperusteet

Tie on mitoitettu 15 vuodelle. Tätä vastaava kuormituskertaluku on laskettu seuraavin olettamuksin:

- KVL	312
- raskas liikenne	31
- kuormitusekvivalentti	1,5 (Rask. liikenne 35 % yksittäisiä, 65 % yhdistelmiä)
- leveyskerroin	1,0

Tällöin kuormituskertaluku 15 vuodelle on

$$15 \cdot 365 \cdot 31 \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 0,26 \text{ miljoonaa}$$

Tien otaksuttiin vaurioituvan liikennekuormituksen aiheuttaman väsymisen takia. Vaurioitumiskriteerinä käytettiin alimmalle sidotulle kerrokselle APAS-väsymissuoraa (LOG-LOG-asteikolla), minkä perusteella kerrospaksuus iteroitetaan riittävän paksuksi kuormituskertaluvun mukaan niin, että lasketuilla paksuuksilla saatua venymää vastaava kuormituskertaluku on suurempi kuin liikennemäärästä laskettu mitoituskormituskertaluku. Muutkin kerrokset tarkastetaan vastaavalla tavalla.

Vanha rakenne oli koekuoppakaivausten, maatutkauksen ja pudotuspainomittausten perusteella taulukon 9 mukainen.

Taulukko 9. Vanhan rakenteen rakennekerrokset, paksuudet ja moduulit.

Rakennekerros	Kerrospaksuus (mm)	Moduuli (MN/m ²)
ÖLJYSORA	80	500
SORAMURSKE	170	120
VANHA ÖS	50	150
SORA	200	70
POHJAMAA (SAVI)	∞	38

4.2 Komposiittistabilointi

Iteroimalla komposiittikerroksen paksuutta tulokseksi saatiin, että tarvittava kerrospaksuus on 140 mm. Komposiitille käytettiin bitumistabiloinnin väsymissuoraa, koska se paras, mitä oli käytettävissä.

Taulukko 10. Komposiittirakenteen rakennekerrokset, paksuudet ja moduulit.

Rakennekerros	Kerrospaksuus (mm)	Moduuli (MN/m ²)
PAB-V	40	2500
KOMPOSIITTI	140	2000
SORAMURSKE	110	120
VANHA ÖS	50	150
SORA	200	70
POHJAMAA (SAVI)	∞	38

Rakenteen mitoitusta tarkastettiin myös kevään sulamiskauden arvoilla. Oletettiin, että sulamiskauden liikennemäärä on 10 % vuotuisesta. Pohjamaan moduuliksi määritettiin 17 MN/m². Muiden sitomattomien kerrosten moduuleihin oletettiin 20 % alenema kevätkauden ajaksi. Taulukosta 11 havaitaan, että komposiittikerroksen paksuutta iteroimalla sen paksuudeksi saatiin pelkästään "15 kevään mitoitustajaksolle" 120 mm. Koko vuoden huomioonottaen 140 mm kerrospaksuus on riittävä.

Taulukko 11. Komposiittirakenteen rakennekerrokset, paksuudet ja moduulit kevään sulamiskauden arvoilla määritettynä.

Rakennekerros	Kerrospaksuus (mm)	Moduuli (MN/m ²)
PAB-V	40	2500
KOMPOSIITTI	120	2000
SORAMURSKE	130	96
VANHA ÖS	50	120
SORA	200	56
POHJAMAA (SAVI)	∞	17

4.3 Vaahtobitumistabilointi

Iteroimalla stabilointikerroksen paksuutta tulokseksi saatiin, että tarvittava vaahtobitumistabiloinnin kerrospaksuus on 190 mm, taulukko 12.

Taulukko 12. Vaahtobitumistabilointirakenteen rakennekerrokset, paksuudet ja moduulit.

Rakennekerros	Kerrospaksuus (mm)	Moduuli (MN/m ²)
PAB-V	40	2500
VAAHTOBITUMISTABILOINTI	190	2200
SORAMURSKE	60	120
VANHA ÖS	50	150
SORA	200	70
POHJAMAA (SAVI)	∞	38

4.4 EKB-emulsiostabilointi

Iteroimalla stabilointikerroksen paksuutta tulokseksi saatiin, että tarvittava EKB-emulsiostabiloinnin kerrospaksuus on 130 mm, taulukko 13.

Taulukko 13. EKB-emulsiostabilointirakenteen rakennekerrokset, paksuudet ja moduulit.

Rakennekerros	Kerrospaksuus (mm)	Moduuli (MN/m ²)
PAB-V	40	2500
EKB-EMULSIOSTABILOINTI	130	4600
SORAMURSKE	120	120
VANHA ÖS	50	150
SORA	200	70
POHJAMAA (SAVI)	∞	38

5 RAKENTAMISOHJEET TYÖMAALLE

5.1 Komposiittistabilointikoealueet

5.1.1 Yleistä

Kohdassa 5.1.2 on esitetty VTT:n suhteituskokeiden perusteella valittu komposiittimassan koostumus, kohdassa 5.1.3 on esitetty sideainemäärät kolmelle vaihtoehtoiselle kerrospaksuudelle ja kohdassa 5.1.4 on annettu ohjeita komposiittikoealueiden rakentamista varten.

5.1.2 Komposiittimassan koostumus

Massan koostumukseen vaikuttavat mm. nykyisen ÖS-kerroksen paksuus ja stabilointisyvyys. Tien pinnassa olevan nykyisen öljysorakerroksen paksuudesta johtuen stabiloitavan massan rouhepitoisuus on noin 50 %. Komposiittimassan koostumus valittiin taulukon 14 mukaiseksi.

Taulukko 14. Komposiittimassojen koostumus koealueilla.

	m-%
ÖS-rouhe (tieltä)	50
Murske (tieltä 0-35mm)	50
Rapid-sementtipitoisuus	1
Valittu lisäbitumipit.	2,9
Optimikosteus	6,2
Valittu vesipitoisuus	3,6

Kiviainesten osuudet ilmoitettu prosentteina kuivan runkoaineen painosta

Sementtipitoisuus ja vesipitoisuus ilmoitettu prosentteina kuiva-ainesten (kuiva runkoaines+sementti) painosta

5.1.3 Kerrospaksuuden valinta

Massan koostumus valittiin suhteituskokeiden perusteella ja kerrospaksuudet mitoituslaskelmin. Komposiittikerroksen paksuudeksi saatiin mitoituksen perusteella 140 mm. Taulukossa 15 on esitetty tielle levitettävä sementti- ja lisäbitumimäärä (kg/m²) kolmella eri kerrospaksuudella 120/140/160 mm.

Koetiele rakennettiin kaksi erillistä komposiittikoealuetta. Tutkimuksellisista syistä komposiittikoealueille tehtiin seuraavat stabilointikerrospaksuudet:

- 120 mm plv 1100-1200
- 160 mm plv 1380-1520.

Taulukko 15. Komposiittimassojen sementin ja lisäbitumin levitysmenekin ja vesipitoisuuden riippuvuus kerrospaksuudesta.

Stabilointikerroksen paksuus	mm	120	140	160
Rapid-sementtimenekki	kg/m ²	2,6	3,1	3,5
Lisäbitumimenekki	kg/m ²	7,6	8,8	10,1
Massan vesipitoisuus ennen stabilointia	m-%	3,6	3,6	3,6

5.1.4 Komposiittistabilointikoealueiden rakentaminen

Työmenetelmä

Komposiittikoealue rakennetaan pääosin kuten tavanomainen vaahtobitumi-stabilointi. Sementti levitetään ja sekoitetaan stabilointikerrokseen ennen lisäbitumin lisäystä.

Komposiitin työstöaika

Rapid-sementtimassan sitoutuminen alkaa noin 45 min jälkeen. Komposiitin työstöajasta annettiin työmaalle ohje, että komposiittimassan tulee olla tiivistetty 1 h kuluessa sementin levityksen aloittamisesta.

Vesipitoisuus

Komposiittistabilointityön alkaessa käsiteltävän kerroksen tuli sisältää taulukon 15 mukainen vesipitoisuus.

Jälkihoito

Komposiittikerros tuli pitää kosteana vähintään 7 vrk rakentamisen jälkeen tai päällystämiseen asti. Jälkihoitoaineena käytettiin vettä.

Komposiitin päällä raskailla ajoneuvoilla liikkumista tulisi mahdollisuuksien mukaan rajoittaa, kunnes komposiitin valmistumisesta on kulunut 1 viikko.

Päällystäminen

Koealueiden kuormitusmittausten vuoksi esitettiin työmaalle että komposiittistabilointi- ja EKBEST-koealueet ja VBST:n mittausturein varustettu kohta päällystetään aikaisintaan neljäntenä päivänä stabiloinnin jälkeen.

5.2 EKB-emulsiostabilointikoealueet

Suhteituskoetulosten perusteella Fortum suositteli EKB-emulsiostabiloinnin bitumipitoisuudeksi (jäävänä bitumina) 3,2 %, mihin ei sisälly vanhan ÖS-kerroksen sideaine. Uuden sideaineen lisäystarve emulsiona on 5,1 %, kun sideaineena käytetään emulgoitua erikoiskovaa bitumia (BIE-EKB).

Työmaalle annettiin ohje, että stabiloitavan kerroksen tavoitepaksuus on 150 mm. Ominaispainon 2300 kg/m² mukaan laskettu sideainemäärä neliömetrille oli 17,5 kg (jäävä bitumimäärä 11,0 kg).

Stabiloitavan massan vesipitoisuus ei saisi ylittää 7 %. Jos stabiloitavan kerroksen vallitseva kosteuspitoisuus on 2 %, niin kastelutarve on 4 % massasta – emulsio lisää massan vesipitoisuutta noin yhden prosenttiyksikön.

5.3 TIEL:n ohjekoostumukset

Tielaitoksen Projekt- ja päällystysyksikkö antoi urakoitsijalle taulukon 16 mukaiset rakentamisohteet eri koeosuuksien massojen koostumuksista.

Taulukko 16. Stabilointimassojen koostumus, TIEL:n ohjeet urakoitsijalle.

Etäisyys tieos.	Mene- telmä	P-ala m ²	Stab.syv mm	Bitumi- laji	Lisä- kg/m ²	Sem. kg/m ²	HUOM
5-210	VBST	1230	150	B 200	10,0		
210-480		1620	200	- " -	11,0		
480-700		1320	150	- " -	9,0		
700-900	Esijyrs+ VBST	1210	150	- " -	11,0		Esijyrs. syvyys 350 mm
900-1100	VBST	1210	150	- " -	9,0		
1100-1200	KOST	600	120	- " -	7,6	2,6	vesipit. 3,6 m-%
1200-1310	EKBEST	660	150	BIE- EKB	17,5		vesipit. ennen stab. <6%
1310-1380	VBST	420	190	B 200	11,4		
1380-1520	KOST	840	160	- " -	10,1	3,5	vesipit. 3,6 m-%
1520-1600	VBST- kev.sora	480	200	- " -	10,0		kevytsoralisäys 70 mm
1600-2600	MHST	6000	150		-	3,5	masuuni-hk lis. 15 kg/m ² vesipit. 3,1 m-%
Yht.		15570					

Koetien sideaineiden ohjeellinen tarve oli yhteensä:

- bitumi B200 88624 kg
- emulsio BIE-EKB 11550 kg
- Rapid-sementti 25 500 kg

Mittausanturein varustettujen koealueiden paalulukemat tummennettu.

6 KOEALUEIDEN INSTRUMENTOINTI

VTT instrumentoi paaluvälillä 1250-1805 neljä koerakennetta: komposiitti-, vaahtobitumi-, EKB-emulsio- ja masuunihiekkastabilointikoealueilla.

Näille koealueille asennettiin sidotun kerroksen alapuolelle (50 mm) kolme painerasiaa/koealue (yht. 12 anturia). Antureilla voidaan seurata rakenteen toimintaa mittaamalla rakenteen yläosan läpi päästämää jännitystä eri aikoina rakentamisen jälkeen. Jos läpi mennyt jännitys samalla kuormalla kasvaa, rakenne heikkenee. Päinvastaisessa tapauksessa rakenne vahvistuu.

Koealueiden vastemittauksiin kehitettiin ja käytettiin ensi kertaa Suomessa mittaussysteemi, jossa miehittämätön mittausasema mittaa automaattisesti jännityksiä sidottujen kerrosten alta ja toimittaa tiedon GSM:n välityksellä tutkijan käyttöön. Mittaussysteemi on kuvattu tarkemmin liitteessä 15.

Koska käytettiin miehittämätöntä mittausasemaa, instrumentoitujen koealueiden tuli olla peräkkäin ja niistä keskimmäisen vain 50 m pitkä, jotta antureiden kaapelipituus jäi kohtuulliseksi.

Koetien päässä sijaitsevan kuljetusliikkeen autoa käytettiin kuormittavana ajoneuvona. Koealueilla tehtiin koekuormituksia myös pudotuspainolaitteella.

7 RAKENTAMISEN TOTEUTUMATIEDOT

7.1 Yleistä

Koetie stabiloitiin 27.7.1999 lukuunottamatta masuunihiekkastabilointialuetta, joka stabiloitiin seuraavana päivänä. Stabiloinnin aikana 27.7.1999 oli heikkotuulinen poutasää. Ilman lämpötila oli 16 °C varjossa, kun komposiittialuetta stabilointiin paaluvälillä 1100-1200 kello 13.50.

Koetie päällystettiin 2.-3.8.1999.

7.2 Komposiittistabilointikoealueet

7.2.1 Rakentamismenetelmä

Komposiittikoealueen stabilointityössä käytettiin seuraavaa kalustoa:

- Jyrsinkone Cutter 4200
- Tiehöylä Lännen AH 162
- Valssi+kumipyöräjyrä Dynapac C251
- Valssi+kumipyöräjyrä Case Vibromax 1102
- Sementinlevitin
- Kastelusäiliöauto

Stabilointia edeltävänä päivänä koetien päällysrakenne esijyrsittiin, muotoiltiin tiehöylällä, tiivistettiin ja kasteltiin. Stabilointityö tehtiin liikenteen hoidon vuoksi puoli tietä kerrallaan. Ensin levitettiin sementti stabiloitavalle osuudelle. Sen jälkeen pinta jyrsittiin ja sekoitettiin stabilointisyvyyteen samalla, kun rakenteeseen ruiskutettiin vaahdotettu bitumi. Stabiloinnin yhteydessä pintaa kasteltiin tarpeen mukaan kasteluautolla. Sen jälkeen stabilointikerros tiivistettiin kevyesti jyräämällä. Stabiloitu kerros muokattiin lopulliseen muotoon tiehöylällä ja tiivistettiin täryjyrällä.

Komposiittikoealueilla ylitettiin rakentamisohjeissa annetut käsittelyajat. Sementin lisäyksestä jyräyksen päättymiseen kului aikaa plv:llä 1380-1520 noin 3,5 h ja plv:llä 1100-1200 noin 2 h 50 min.

7.2.2 Massan koostumus

Bitumipitoisuus

Stabilointisyvyyteen esijyrsitystä ja sekoitetusta vanhasta tien pintarakenteesta (Ös-rouheen ja kantavan kerroksen murskesoran seos) otettiin ennen lisäbitumin ja sementin levitystä kerroksittain näytteet molemmilta komposiittikoealueilta (1 koekuoppa/koealue). Näytteistä tutkittiin sideainepitoisuus ja rakeisuus, taulukko 17 ja liite 7.

Taulukko 17. Esijärsityn ja sekoitetun stabilointimassan bitumipitoisuus ennen lisäbitumin ja sementin lisäystä.

Näytesyvyys	0...5 cm	8...12 cm	0...7,5 cm	7,5...15 cm
	Bitumipitoisuus [m-%]			
Paalu 1170 oik	1,2	1,0		
Paalu 1420 oik			2,0	2,0

Rakeisuuskäyrät on esitetty liitteessä 7. Rakeisuuden vaihtelu pystysuunnassa näissä parissa koekuopassa oli vähäistä.

Sementin levitysmäärä

VTT mittasi sementin levitysmenekin punnitukseen tiepinnalle ennen sementin levitystä asetettujen peltilaatikoiden avulla (ala noin 0,13 m²). Urakoitsija seurasi sementin levitysmenekkiä vastaavasti punnitsemalla stabiloitavan kerroksen pinnalle levitetyn 1 m² suuruisen kangaspalan päälle sirotellun sementin massan.

Urakoitsijan mittaustulosten mukaan sementin levitysmenekki vastasi suhteitusreseptin ohjearvoa. VTT:n mittauksen mukaan ohjearvo ylitettiin, taul.18, liite 10.

Taulukko 18. Sementin levitysmenekki (VTT:n ja urakoitsijan mittaukset).

Paalu	1200	1400	1420	1440
	Sementtimenekki [kg/m ²]			
VTT		3,7	4,6	4,1
Urakoitsija	2,75	3,45		
ohjearvo	2,6	3,5	3,5	3,5

Esijärsityn ja sekoitetun vanhan tien öljysoran ja kantavan kerroksen murskesoran kosteus komposiittikoealueiden oikealla tien puoliskolla ennen sideaineiden levitystä poikkesi suhteitusreseptin ohjearvosta eri syvyyksillä 0,3..1,1 %-yksikköä, taulukko 19.

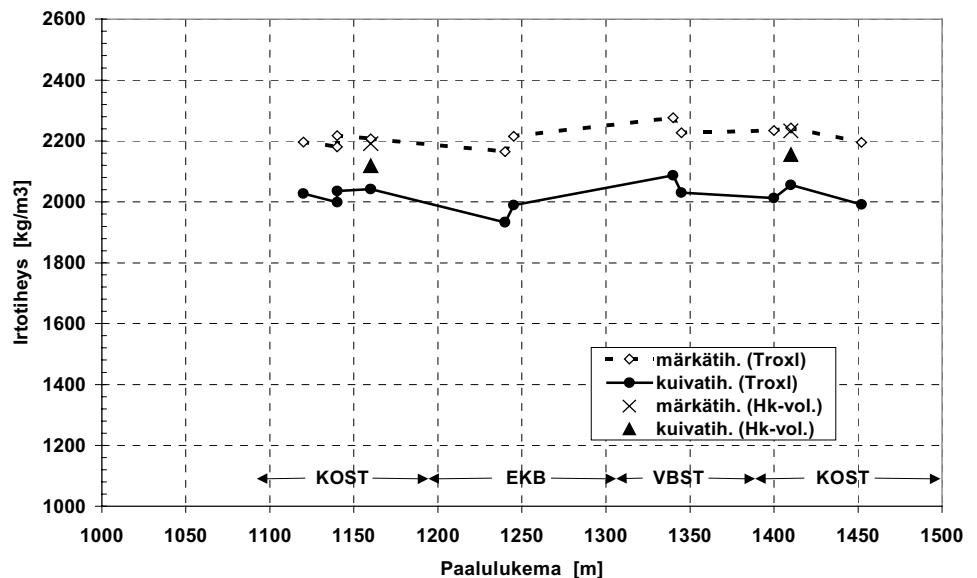
Taulukko 19. Esijärsityn ja sekoitetun massan kosteus ennen sideaineiden levitystä komposiittikoealueilla.

		anturoimaton koealue			anturoitu koealue		
		PL 1170	PL 1170	ka	PL 1420	PL 1420	ka
Näytesyvyys	cm	0...5	8...12		0...7,5	7,5...15	
Stabilointisyvyys	mm	120	120		160	160	
Vesipit. (kuivap.), toteut.	%	4,7	3,9	4,3	3,9	3,0	3,4
Vesipit. (kuivap.), ohje	%	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Vesipit. poikkeama	%-yks.	-1,1	-0,3	-0,7	-0,3	0,6	0,2

7.2.3 Tiiveys

Stabiloidun komposiittikerroksen tiiveys mitattiin molemmilta komposiittikoealueilta hiekkavolymetrillä (1 koekuoppa/alue). Lisäksi tiiveys mitattiin radio-metrisellä laitteella (Troxler 3400) useasta kohdasta komposiitti-, EKB-emulsiostabilointi- ja vaahtobitumistabilointikoealueita. Troxler-mittaukset tehtiin suoramittauksena, jolloin mittaussauva lyötiin suurin piirtein stabilointisyvyyteen (lähimpään 50 mm:iin pyöristettynä menetelmästä johtuen). Molemmilta komposiittikoealueilta mitattiin tiivistetyn stabilointikerroksen tiheys hiekkavolymetrillä. Näiden mittausten tulokset on esitetty kuvassa 11. Lisäksi urakoitsija teki koealueilla tiiveyden pintamittauksia toisella Troxler-laitteella, liite 10.

Hiekkavolymetrillä mitatut komposiittikerroksen tiiveydet olivat noin 95-96 % parannetusta Proctor-tiiveydestä. Troxlerin mukaan samoista pisteistä mitatut tiiveydet olivat 91-92 % parannetusta Proctor-tiiveydestä, taulukko 20. Jos korjataan muissa kohdissa KOST- ja EKBEST-alueilla saatuja VTT:n Troxler-tuloksia hiekkavolymetrin tulosten perusteella, ovat korjatut Troxler-tiiveydet KOST I-alueella 93-95 % ja EKBEST-alueella 90-93 %, VBST-alueella 95-97 % ja KOST II -alueella 93-96 % parannetusta Proctor-tiiveydestä, taulukko 20.



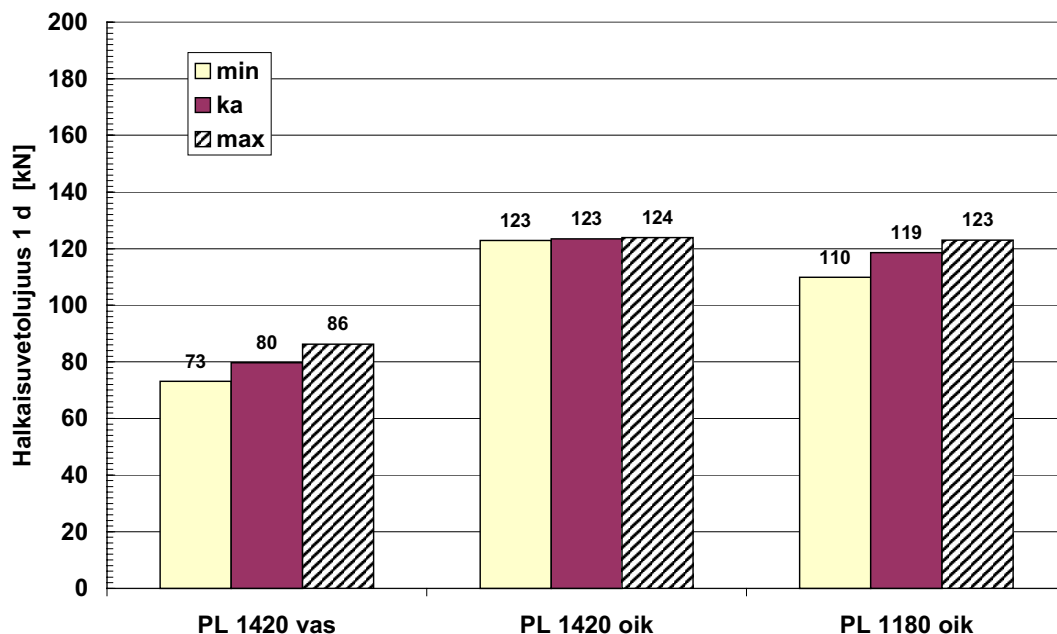
Kuva 11. Koealueiden tiiveydet (Troxler-suoramittaus ja hiekkavolymetri).

Taulukko 20. Hiekkavolymetrillä ja Troxlerilla mitatut komposiittistabilointi-kerrosten tiiveydet verrattuna Proctor-tiiveyteen.

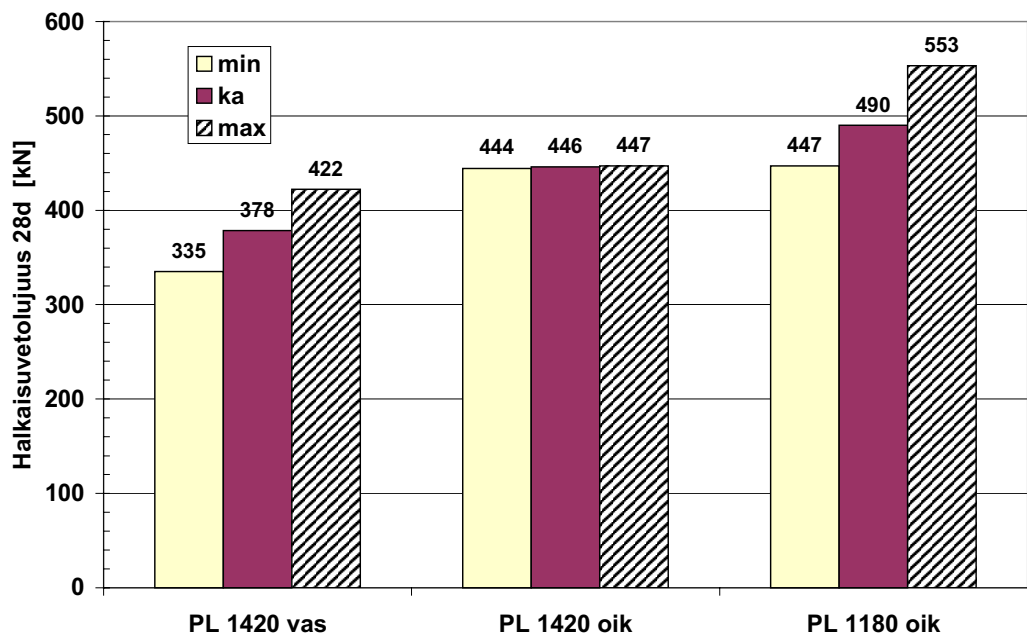
Koelalue	KOST I				EKBEST		VBST		KOST II		
Paalu	1120	1140	1140	1160	1240	1245	1340	1345	1400	1410	1452
et. reunasta [cm]	175 o	225 v	150 o	225 v	150 o	170 v	150 v	190 o	150 v	150 v	190 o
Mittareian syv. [cm]	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	15
Kuivairtoih. (Troxler)	2027	1999	2035	2042	1933	1989	2087	2030	2012	2055	1991
Troxl. %Proctorista	90	89	91	91	86	89	93	91	90	92	89
Hk-vol.%Proctorista				95						96	
Korj.tiiv. %Proctorista	94	93	95	95	90	93	97	95	94	96	93

7.2.4 Halkaisuvetolujuus

Koetietä otettiin sementin levityksen ja sekoituksen jälkeen ennen tiivistämistä kahdelta paalulta teräsmuotteihin lieriön muotoiset näytteet (h150 mm, D 150 mm). Massa tiivistettiin kolmessa kerroksessa. Näytteet kuljetettiin samana päivänä VTT:lle Espooseen, jossa tutkittiin komposiitin halkaisuvetolujuus, kun näytteen ikä oli 1 d ja 28 d. Yhden vuorokauden ikäisten näytteiden koestuslämpötila oli 22 °C lyhyestä säilytysajasta johtuen. Neljän viikon ikäiset näytteet varastoitiin 22 °C lämpötilassa kosteina ja koestettiin +10 °C:ssa.



Kuva 12. Koetien komposiittimassan halkaisuvetolujuus (1d/ 22 °C).



Kuva 13. Koetien komposiittimassan halkaisuvetoisuus (28d/ 10 °C)

7.3 EKB-emulsiostabilointikoealue

EKB-emulsiostabilointimassan massanäytteiden koostumus on esitetty liitteessä 9.

7.4 Vaahtobitumistabilointikoealue

Vaahtobitumikoealueiden laadunvalvontatulokset koko koetieltä on esitetty liitteessä 10.

7.5 Masuunihiekkastabilointikoealue

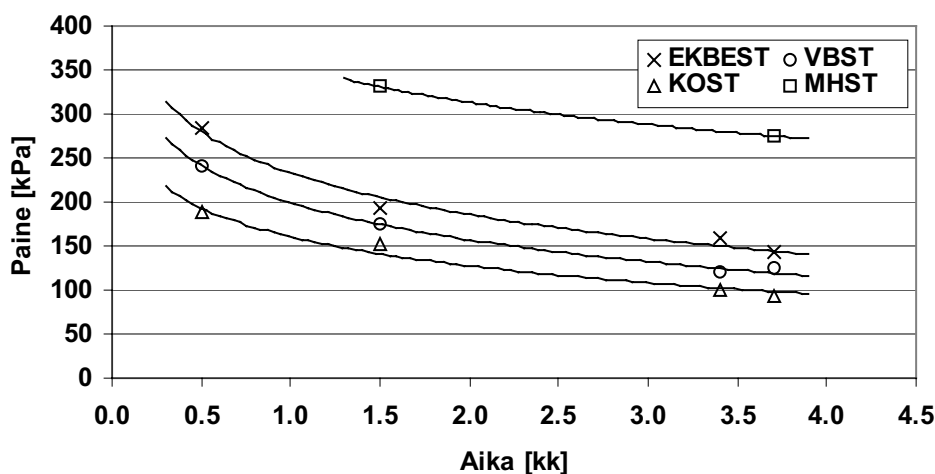
Tielaitoksen Projekti- ja päällystysyksikkö rakensi masuunihiekkastabilointialueen. Masuunihiekkastabiloinnin toteutunut kerrospaksuus tutkitussa neljässä kohdassa vastasi ohjearvoa 150 mm. Kerroksen Troxler tiiviys oli keskimäärin 95,1 % Proctor- tiiveydestä (ohjearvo > 95 % ja yksittäisillä näytteillä (8 kpl) vaihteluväli 93,6-96,1 % (ohjearvo >92 %).

Rakentamisen aikaisten koelieriöiden puristuslujuudet 7-91 vrk iässä olivat kahden näytteen keskiarvoina: 0,9 MPa (7 d), 1,4 MPa (28 d) ja 1,9 MPa (91 d). Yksityiskohtaisemmin tulokset on esitetty liitteessä 11.

8 VALMIIN RAKENTEEEN LAATU

8.1 Jännitykset rakenteessa

Vastemittaustulosten verhoikäyrien perusteella määritettiin, paljonko sidotut kerrokset (PAB-V ja stabilointikerros) päästävät jännitystä läpi, kun PAB:n yläpinnassa on kuorma-auton vetoakselin (akselipaino 9,4 t) paripyörän aiheuttama jännitys, joka on noin 800 kPa. Jännitys mitattiin anturilla, joka oli 50 mm stabiloidun kerroksen alapuolella eli noin 250 mm tien pinnasta. Kuvassa 14 on esitetty kunkin koealueen keskimmäisen anturin antama tulos.

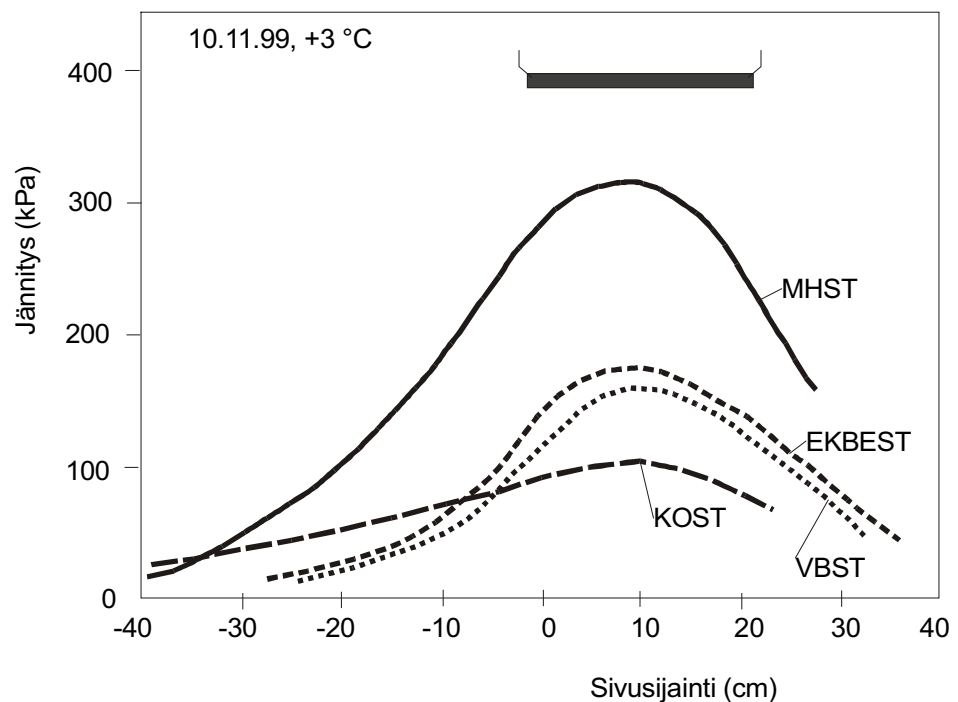


Kuva 14. Jännitys 50 mm stabiloidun kerroksen alla ajan funktiona (kolmesta anturista valittu keskimäinen arvo).

Kuvasta on havaittavissa, että kaikilla rakenteilla tapahtuu lujittumista ajan suhteen. Suurin jäykkyys on kokeen alusta lähtien ollut komposiittistabiloinnilla ja lujuuden kehittyminen näyttää olevan suunnilleen samanlaista kaikilla bitumisilla stabiloinneilla. Lujittuminen on suhteellisesti suurinta bitumisilla stabiloinneilla. Masuunihiekkastabilointi näyttää tarvitsevan pidemmän ajan lujittumisen kehittymiseen. Seuraavien vuosien vastemittauksilla on mahdollista selvittää eri rakenteiden lujittumisen suuruus ja siihen tarvittava aika.

Eri stabilointimenetelmien tuloksia verrattaessa tulee ottaa huomioon erilaiset stabilointisyvytykset (KOST 160, VBST 190, EKBEST 150 ja MHST 150 mm). Lisäksi on huomattava, että lämpötila oli aluksi korkeampi ja samoin sidottujen kerrosten jäykkyysmoduuli. Lämpötilan vaikutusta on vaikea arvioida ja se on lisäksi erilainen eri rakenteilla.

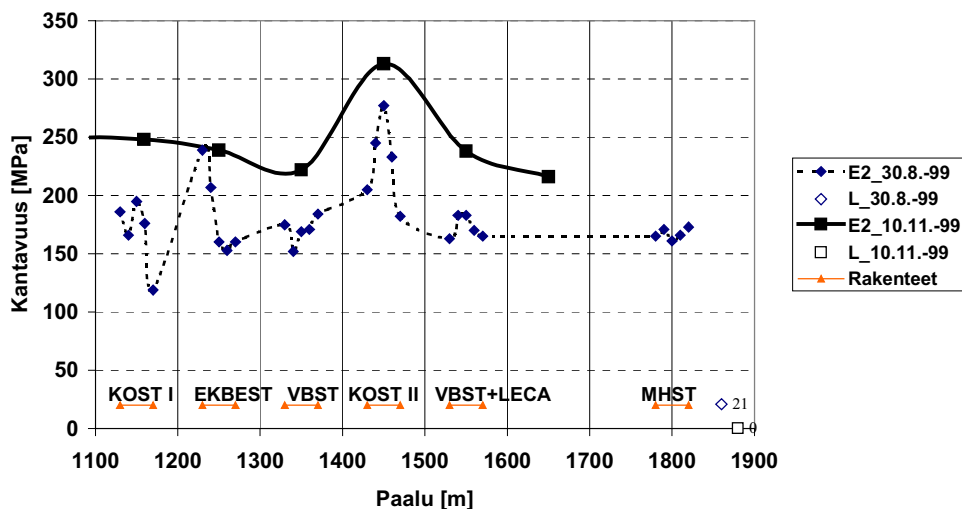
Kuvassa 15 on esitetty jännityksen jakaantuminen eri rakenteissa kuorma-auton etupyörän alla, kun stabiloinnit olivat noin 3,5 kuukauden ikäisiä. Komposiittistabilointi jakoi jännityksen parhaiten ja leveimmälle alueelle. EKB-emulsiostabilointi ja vaahtobitumistabilointi toimivat suunnilleen samalla tavoin. Masuunihiekkastabiloinin kyky jakaa jännitystä oli selvästi heikompi kuin muilla rakenteilla 100 päivän iässä.



Kuva 15. Jännityksen jakaantuminen eri rakenteissa noin 100 päivän ikäisinä 3,4 tonnin etupyörän kuormittamana.

8.2 Kantavuus

Koetiellä tehtiin pudotuspainomittauksia elokuun lopussa ja marraskuun alussa vuonna 1999. Kuvassa 16 on esitetty 50 kN:n kuormalla suoritettujen mittausten perusteella lasketut tien kantavuusarvot eri koealueilla.



Kuva 16. Kantavuusarvot vuoden 1999 mittauksissa

Elokuussa tehdyissä mittauksissa vaihtelivat kantavuudet KOST I:ssä välillä 119...195 MPa, keskiarvon ollessa 168 MPa, EKBEST:ssä välillä 153...239 MPa, keskiarvon ollessa 184 MPa, VBST:ssä välillä 152...184 MPa, keskiarvon ollessa 170 MPa, KOST II:ssä välillä 182...277 MPa, keskiarvon ollessa 228 MPa, VBST+LECA-kevytsorassa välillä 163...183 MPa, keskiarvon ollessa 173 MPa ja MHST:ssä välillä 161...173 MPa, keskiarvon ollessa 167 MPa. Keskimääräinen mittauslämpötila oli tällöin 21 °C.

Alla olevassa taulukossa 21 on esitetty tarkempi analyysi kantavuusarvoista. Elokuussa tehdyissä mittauksissa anturoidun KOST II-alueen kantavuus oli 24 % korkeampi kuin EKBEST-alueen, 34 % korkeampi kuin VBST-alueen ja 37 % korkeampi kuin MHST-alueen kantavuus. Keskimääräinen mittauslämpötila oli 21 °C.

Taulukko 21. Kantavuusarvot elokuussa 1999.

Mittaus 30.08.1999 Lämpötila 21°C		Kantavuudet [MPa]			
Rakenne	Paalu	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Keskihajonta
KOST I	1130-1170	119	195	168	30
EKBEST	1230-1270	153	239	184	38
VBST	1330-1370	152	184	170	12
KOST II	1430-1470	182	277	228	37
VBST+LECA	1530-1570	163	183	173	10
MHST	1780-1820	161	173	167	5

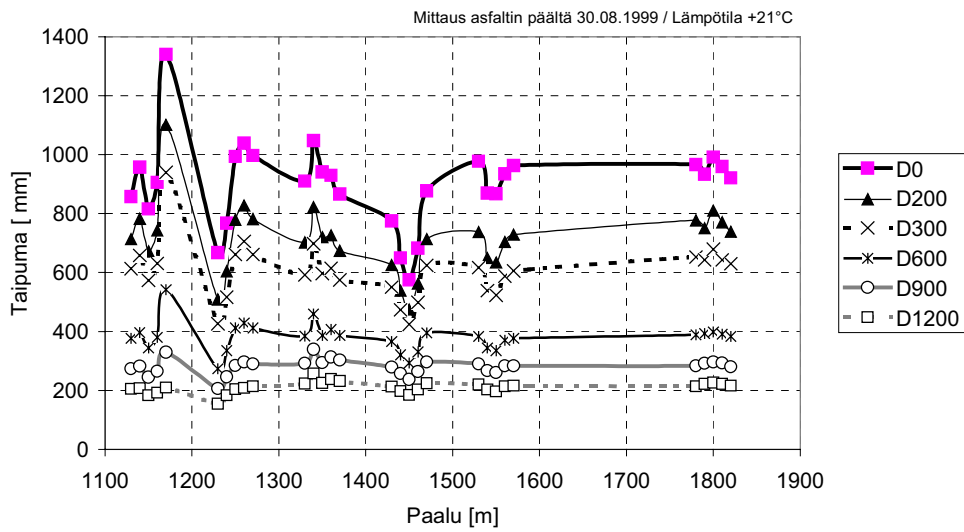
Marraskuussa tehdyissä mittauksissa oli mittauspisteitä vain yksi kussakin rakenteessa MHST:a lukuunottamatta, jolta ei tehty mittauksia lainkaan. Kantavuusarvot olivat KOST I:ssä 248 MPa, EKBEST:ssä 239 MPa,

VBST:ssä 222 MPa, KOST II:ssa 313 MPa ja VBST+LECA:ssa 238 MPa. Keskimääräinen mittaustilanteen lämpötila oli tällöin 0 °C.

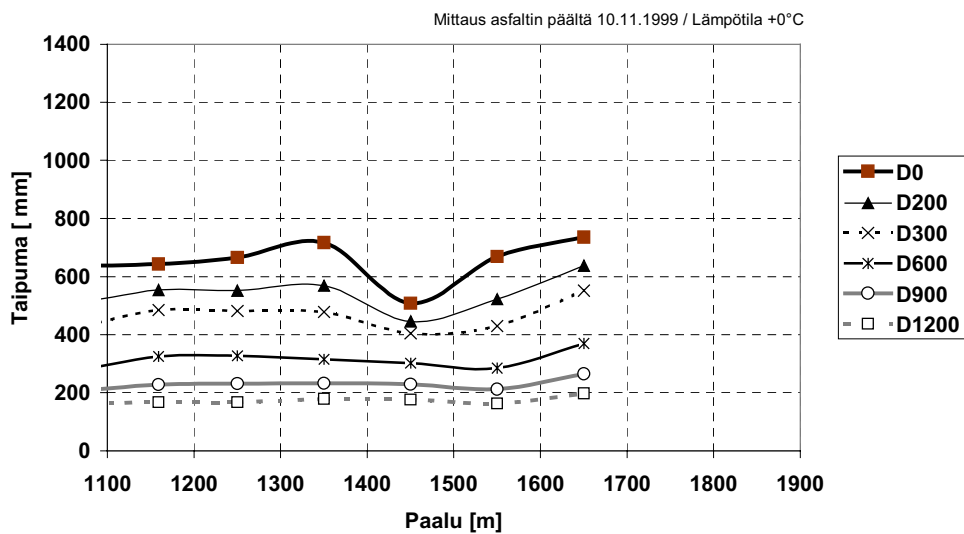
Pudotuspainomittauksia analysoidaan tarkemmin eri indekseillä, jotka kuvaavat eri rakennekerrosten käyttäytymistä. Kuormituslevyn keskellä mitattu taipuma D_0 kuvaa perinteistä kantavuusarvoa, D_0 - D_{200} kuvaa sidottujen kerrosten käyttäytymistä, D_0 - D_{450} kuvaa sidottujen kerrosten + sitomattoman kantavan kerroksen käyttäytymistä ja lopuksi D_{900} - D_{1200} pohjamaan käyttäytymistä. Seuraavissa kuvissa on esitetty selkeyden vuoksi vain pudotuspainolaitteella mitatut taipumat eri etäisyydellä kuormituksesta, indeksit voi päätellä eri käyrien erotuksina.

Kuvassa 17 on esitetty elokuussa 1999 mitatut kaikkien antureiden taipumat. Kuvasta voidaan esimerkiksi nähdä, että paalulla 1170 esiintyvä taipuma aiheutuu noin 0,9 m syvyydellä olevasta heikosta kerroksesta. Paalulla 1230 pieni taipuma aiheutuu siitä, että pohjamaa on parempaa sillä kohdalla. Paalulla 1450 pieni taipuma aiheutuu ylimmäisen kerroksen jäykkyydestä. Kuvia voi analysoida vastaavasti silmämääräisesti ja tarkemmin takaisinlaskemalla kerrosten moduulit ohjelmilla, joita on saatavilla lukuisia.

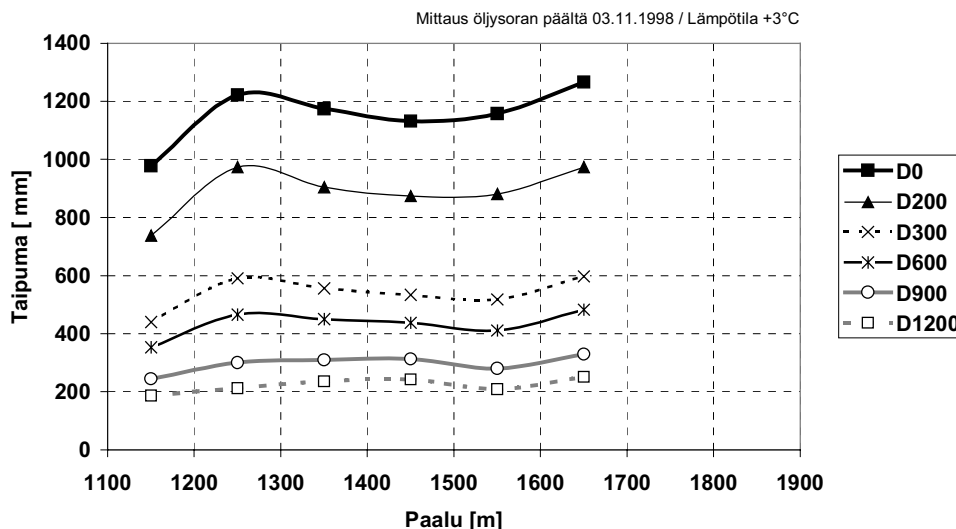
Kuvassa 18 marraskuussa 1999 mitatut kaikkien antureiden taipumat. Kuvassa 19 on esitetty vertailun vuoksi ennen korjaustoimenpiteitä marraskuussa 1998 mitatut taipumat. Kuvista havaitaan, että korjauksen jälkeen taipumat ovat enää suunnilleen puolet siitä, mitä ne olivat ennen korjausta. Tähän on syynä ennenkaikkea päällysrakenteen yläosan paljon suurempi jäykkyys. Ennen korjausta indeksi $D_0 - D_{300}$, mikä kuvaa rakenteen yläosan jäykkyyttä, oli noin 600 μm , kun vastaava indeksi oli korjauksen jälkeen vain noin 180 μm . Rakenteen yläosan suuri jäykkyys pienentää myös pohjamaan taipumaa, kun kuormitus jakaantuu laajemmalle.



Kuva 17. Taipumat elokuussa 1999



Kuva 18. Taipumat marraskuussa 1999

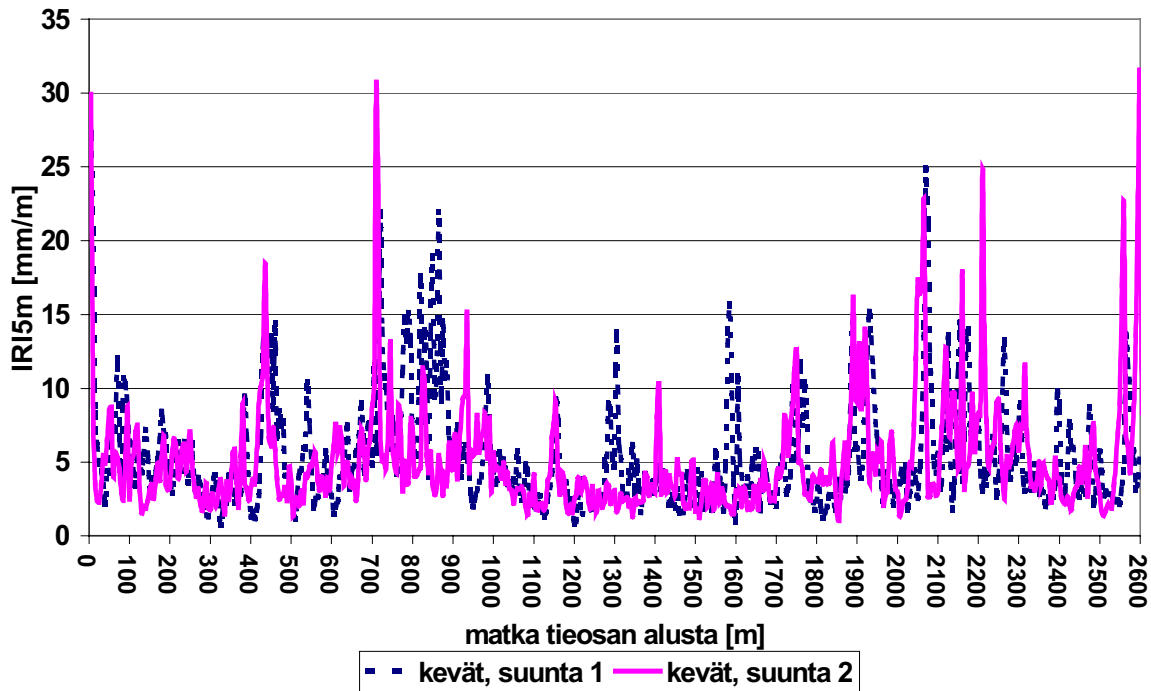


Kuva 19. Taipumat marraskuussa 1998 ennen korjaustoimenpidettä.

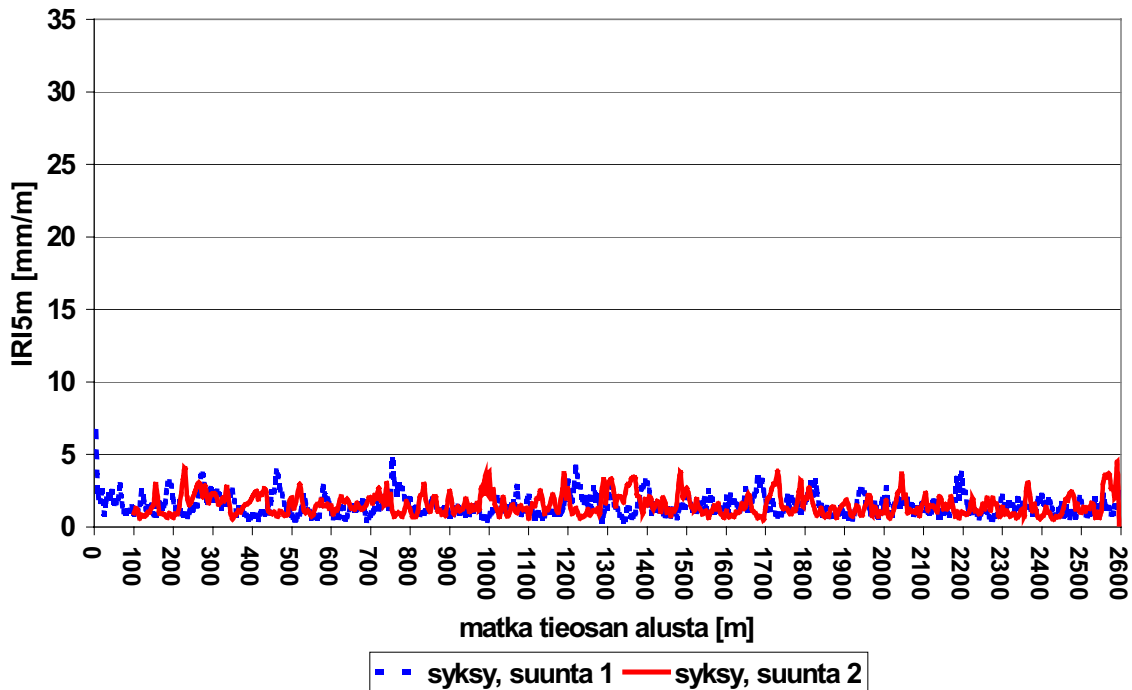
8.3 Päällyste

Koko koetie päällystettiin pehmeällä asfalttibetonilla PAB-V 16/100. Koko kohteessa keskimäärin toteutunut massamäärä oli 100 kg/m² ja sideainepitoisuus massanäytteiden mukaan 3,60 % (ohje 3,50 %). Päällysteen sideainepitoisuus ja rakeisuus on esitetty liitteessä 13 ja päällystekiviaineksen ominaisuudet on esitetty liitteessä 14.

Koetien tasaisuus ja pituusprofiili mitattiin PTM-autolla. Tuloksista lasketut IRI 5m tasaisuuden tunnusluvut ennen ja jälkeen kunnostuksen on esitetty kuvissa 20 ja 21. Tasaisuus on parantunut huomattavasti kunnostuksen ansiosta. Koetien pinnan korkeusasema on vaaittu syksyllä 1999. Pituusprofiili- ja vaaitustulokset raportoidaan myöhemmin tehtävien seurantatutkimusten yhteydessä.



Kuva 20. Koetien IRI 5m tasaisuus ennen rakenteen parantamista.

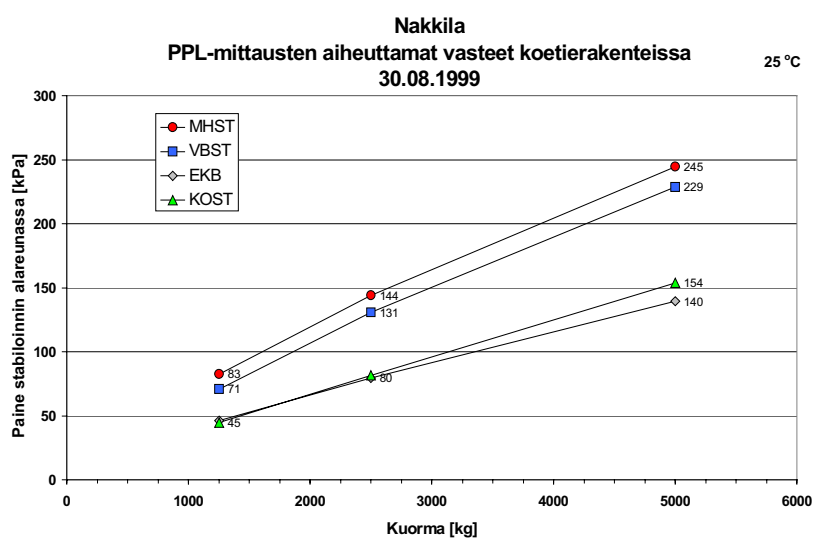


Kuva 21. Koetien IRI 5m tasaisuus rakenteen parantamisen jälkeen.

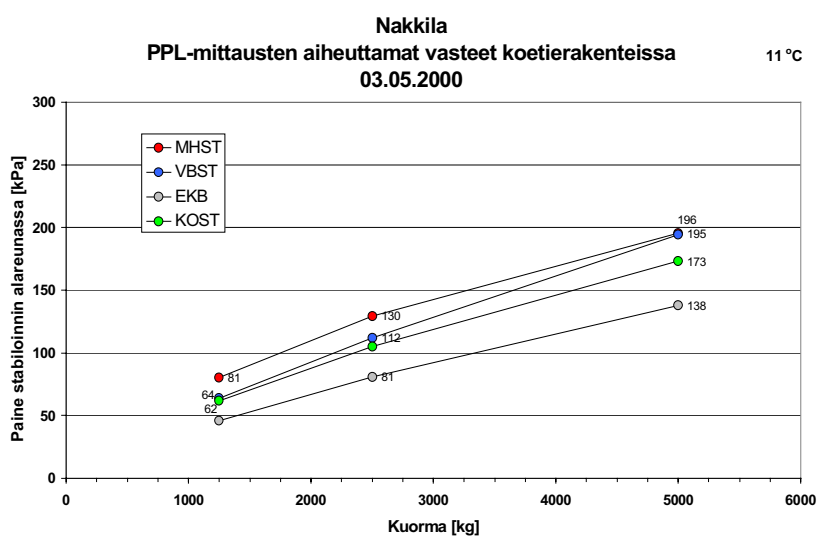
9 SEURANTAMITTAUKSET 2000...2001

9.1 Jännitykset rakenteessa

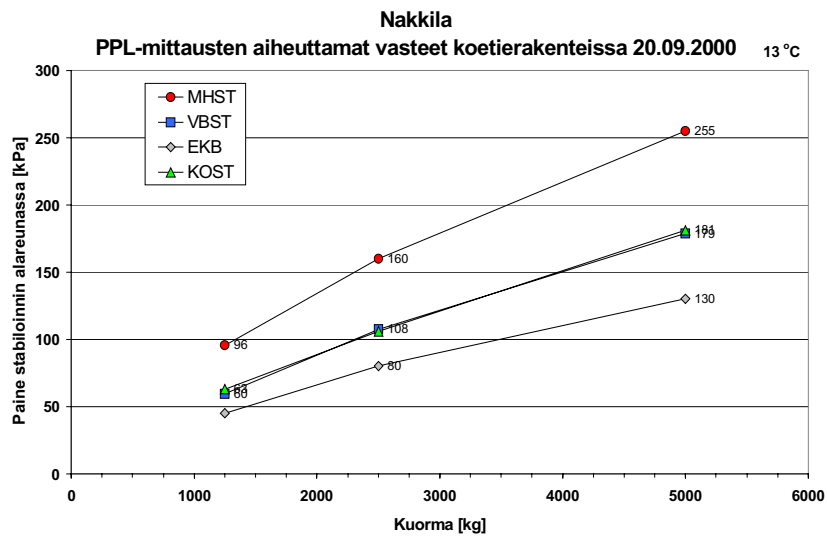
Koerakenteiden kykyä jakaa jännityksiä alempiin kerroksiin tutkittiin vaste-mittauksin. Jakamiskyvyn kehittymistä pyrittiin selvittämään mittaamalla vuosittain pudotuspainolaitteen ja kuorma-auton aiheuttama jännitys stabi-loidun kerroksen alapuolelta eli noin 250 mm tien pinnasta. Kuvissa 22...26 on esitetty kunkin koalueen tulokset pudotuspainolaitteen kuormituksille.



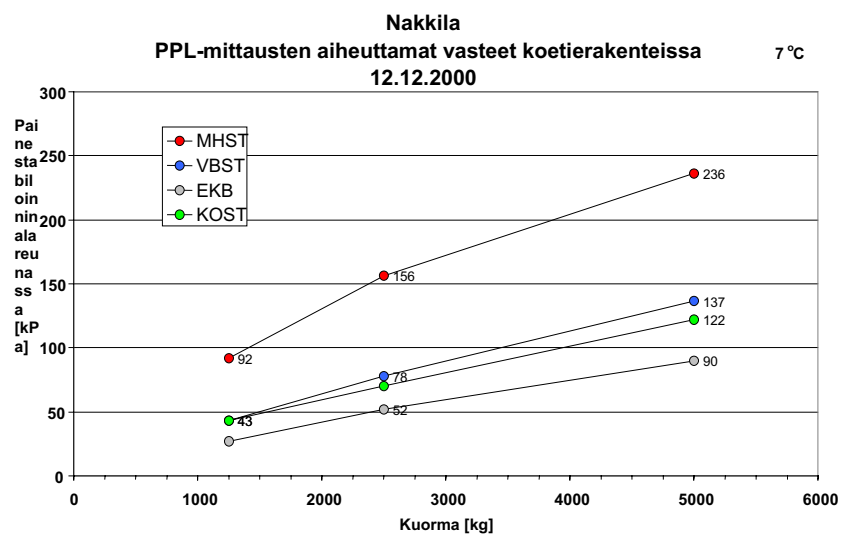
Kuva 22 PPL-mittausten aiheuttamat jännitykset syksyllä 2001



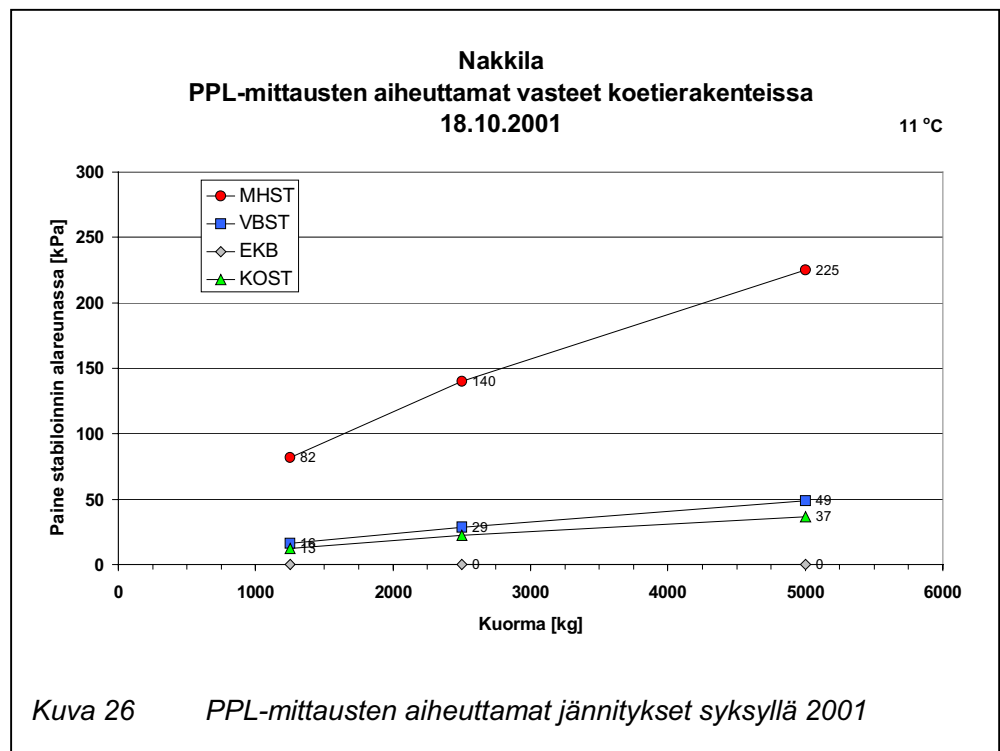
Kuva 23 PPL-mittausten aiheuttamat jännitykset keväällä 2000



Kuva 24 PPL-mittausten aiheuttamat jännitykset syksyllä 2000



Kuva 25 PPL-mittausten aiheuttamat jännitykset loppuvuodesta 2000

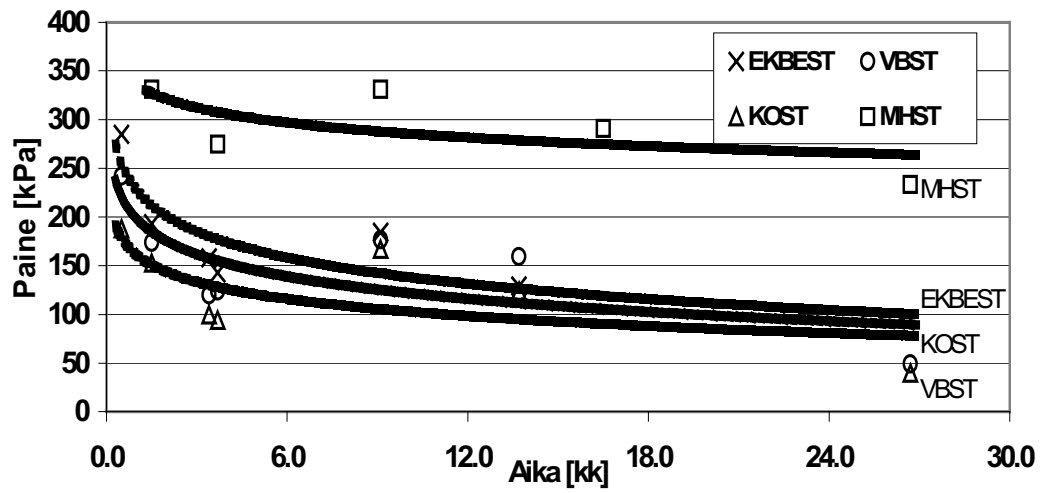


Kuvia vertailtaessa on huomioitava niihin sisältyvä mittaushetken lämpötilan vaihtelu. Kuvista on pääteltävissä, että mitatut jännitykset ovat pienentyneet ajan myötä kaikkilla muilla rakenteilla paitsi MHST:lla. Siten voidaan päätellä, että näiden rakenteiden kyky jakaa jännityksiäkin on kasvanut. Erityisen selvää tämä kasvu on ollut VBST-rakenteella. Myöskin EKB- ja KOST-rakenteiden kyky on kasvanut seuranta-aikana selkeästi.

Kaikkien rakenteiden jäykkyys lisääntyi voimakkaimmin heti rakentamisen jälkeen. Sen jälkeen VBST-rakenteella mitatut jännitykset ovat pienentyneet tasaisesti ja selvästi muita enemmän.

Viimeisellä mittauskerralla EKB-rakenteesta ei enää saatu mittaustuloksia. Todennäköisesti herkkä mittaussysteemi oli vaurioitunut kahden vuoden aikana vaikeissa olosuhteissa kosteuden vuoksi.

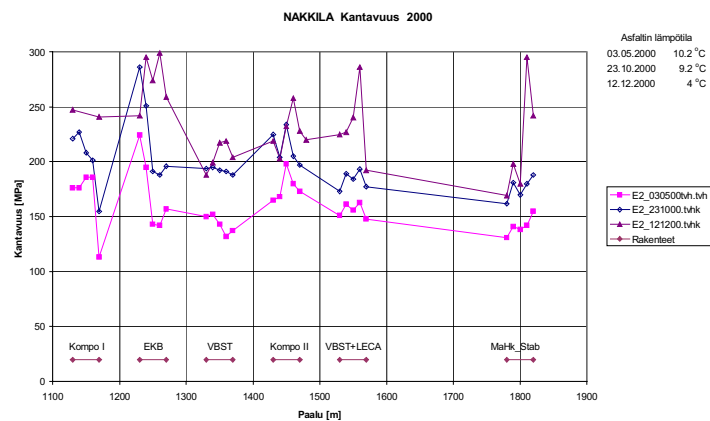
Yhteenveto kuorma-autolla tehtyjen kuormitusten vastemittaustuloksista on esitetty kuvassa 27. Tulokset ovat hyvin yhdensuuntaisia vastaaviin pudotuspainolaitekuormituksista saatuihin tuloksiin. Kuvasta käy selkeästi ilmi jännitysten voimakas pienentyminen KOST-, EKBEST- ja VBST-rakenteilla heti rakentamisen jälkeen samoin kuin VBST-rakenteen selkeä jatkuva lujittuminen aina viimeiseen mittauskertaan asti. EKBEST-rakenteen lujittumistrendin arviointia haittaa tulosten puuttuminen viimeisiltä mittauskerroilta. Myös näistä mittauksista käy ilmi MHST-rakenteen muista selkeästi pienempi kuormitusten jakamiskyky.



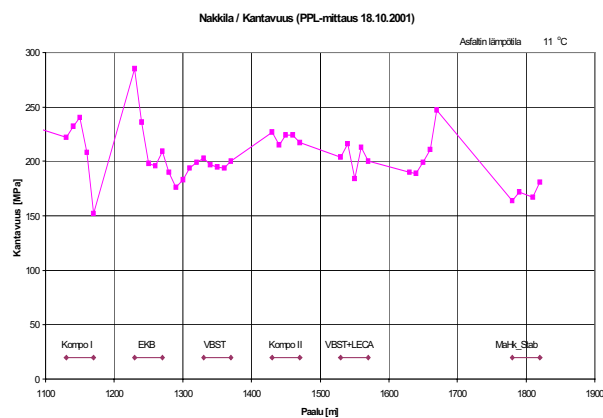
Kuva 27. Kuorma-auton akselin aiheuttamien jännitysten kehittyminen seuranta-aikana.

9.2 Kantavuus

Koetiellä on tehty seurantamittauksia pudotuspainolaitteella vuonna 2000 kolmesti ja vuonna 2001 kerran. Kuvassa 28 on esitetty 50 kN:n kuormalla vuonna 2000 suoritettujen mittausten perusteella lasketut tien kantavuusarvot eri koealueilla ja kuvassa 29 vuoden 2001 mittausten pohjalta. Vuoden 2000 kantavuudet poikkeavat toisistaan, mikä johtunee rakenteen erilaisesta käyttäytymisestä eri vuodenaikoina ja selkeästi siitä että mittauserkkojen lämpötilat poikkeavat toisistaan. Eri vuosina samana vuodenaikana – syksy – mitattujen kantavuuksien suhteen eroja ei juuri löydy.



Kuva 28. Kantavuusarvot vuoden 2000 kolmen eri ajankohdan mittauksissa



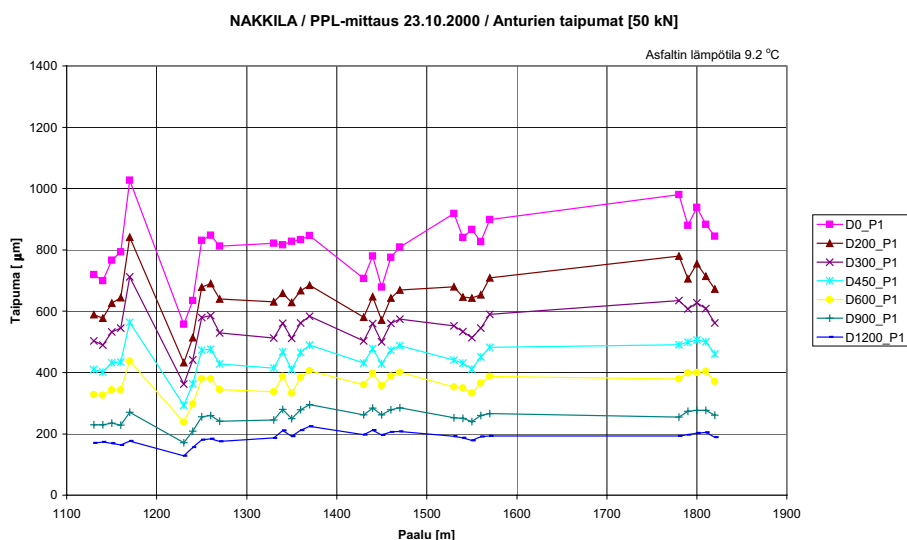
Kuva 29. Kantavuusarvot vuoden 2001 mittauksessa

Alla olevassa taulukossa 22 on esitetty kantavuusarvojen kehittyminen seuranta-aikana syksyisten mittausten perusteella. Ottamalla huomioon mitauslämpötilojen erot rakenteiden kantavuus on tarkasteluajana lisääntynyt vain vähän – MHST:n osalta kantavuus on pikemminkin pienentynyt.

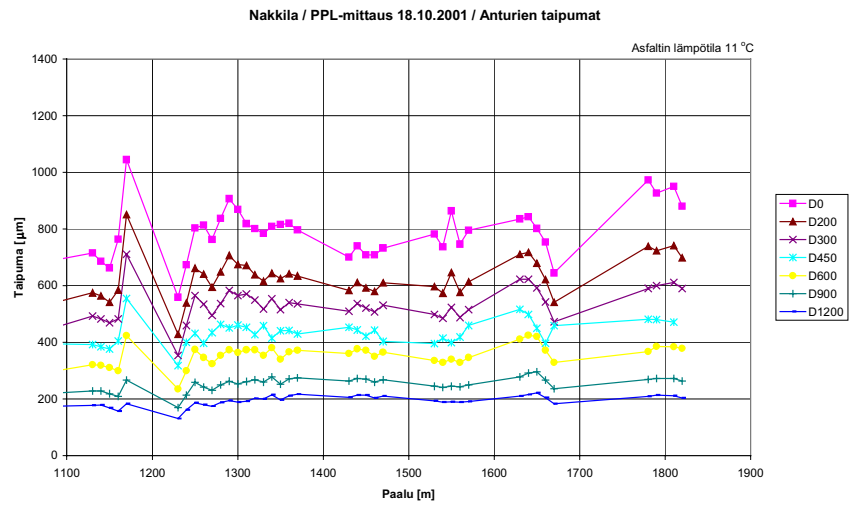
Taulukko 22. Syksyiset kantavuusarvot seuranta-aikana 1999...2001

Koeosuus		Kantavuudet [MPa]		
Rakenne	Paalu	30.08.-99 21 °C	23.10.-00 9 °C	18.10.-01 11 °C
KOST I	1130-1170	168	202	211
EKBEST	1230-1270	184	222	225
VBST	1330-1370	170	192	198
KOST II	1430-1470	228	213	221
VBST+LECA	1530-1570	173	183	203
MHST	1780-1820	167	176	171

Kuvassa 30 on esitetty lokakuussa 2000 mitatut kaikkien antureiden taipumat ja kuvassa 31 vuoden 2001 lokakuun vastaavat. Kuvista käy ilmi, ettei rakenteessa pudotuspainolaittemittausten perusteella ole tapahtunut rakentamisen jälkeen sanottavia muutoksia.



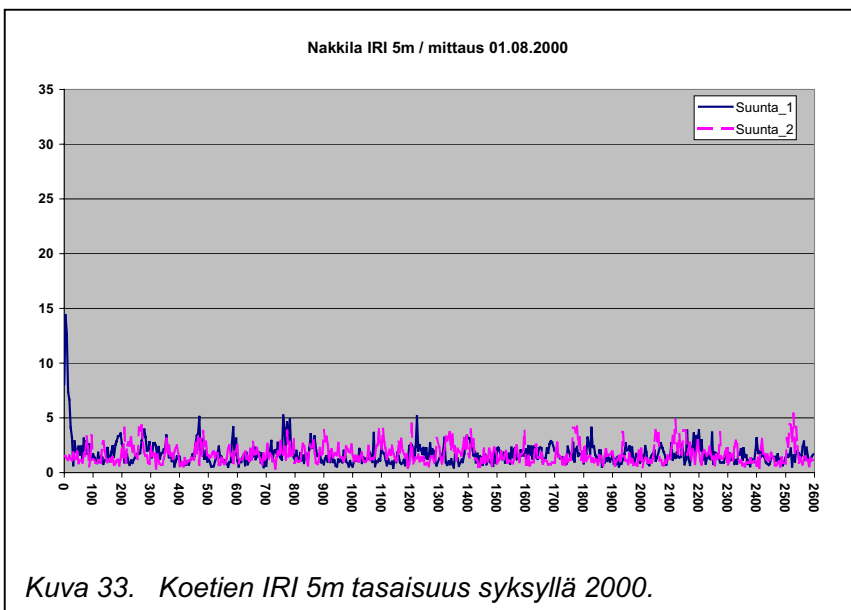
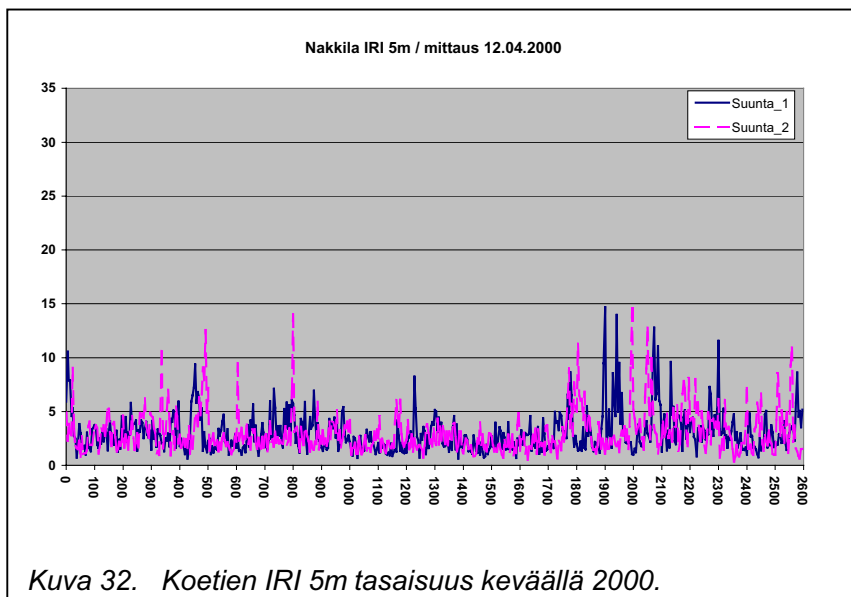
Kuva 30 Anturikohtaiset taipumat vuoden 2000 mittauksissa

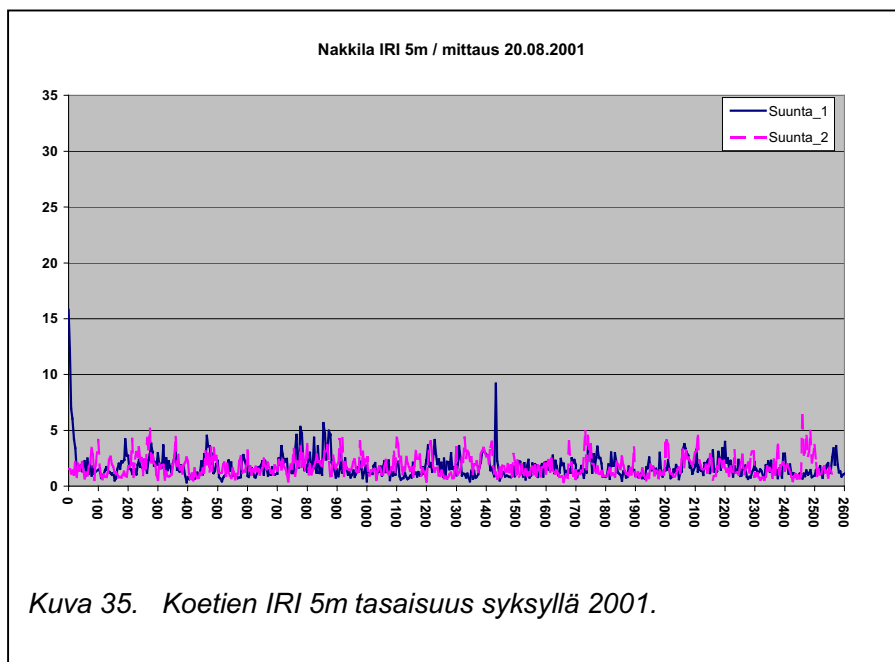
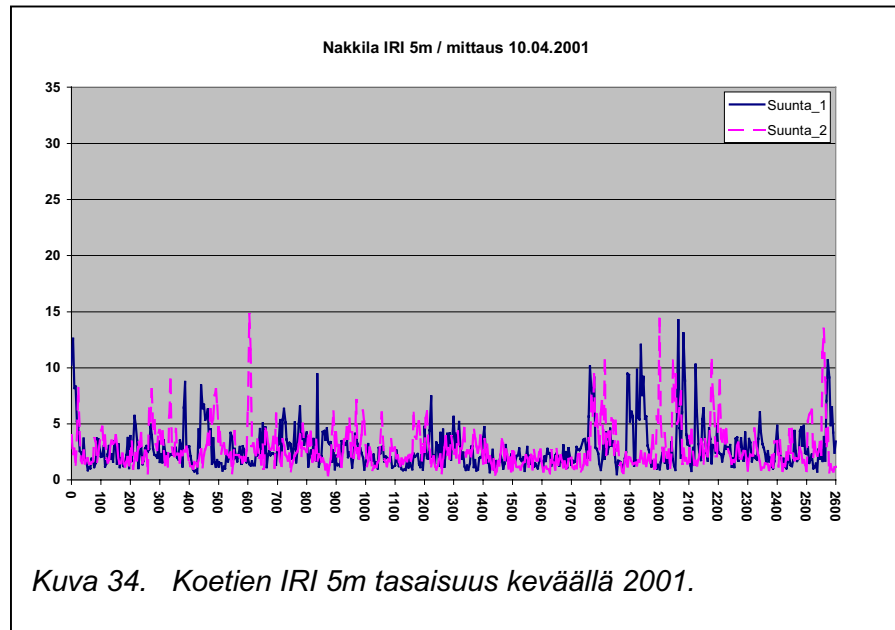


Kuva 31 Anturikohtaiset taipumat vuoden 2001 mittauksissa

9.3 Päällyste

Koerakenteiden tasaisuus ja pituusprofiili on mitattu PTM-autolla seuranta-aikana vuosina 2000 ja 2001. Tuloksista lasketut IRI 5m tasaisuudet on esitetty kuvissa 32... 35. Tasaisuus vaihtelee hivenen vuodenaikojen mukaan, mikä on tyypillistä tämän tasoiselle tielle. Muuten tasaisuus on pysytellyt koerakenteilla suurinpiirtein samanlaisena koko seuranta-ajan. Koerakenteista MHST-osuudella on hivenen muita suuremmat IRI 5 arvot.





10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen lähtökohtana olivat Turun tiepiirin koekohteissa ja TPPT-projektin materiaaliprojektissa saadut hyvät kokemukset bitumin ja sementin käytöstä sideaineena samassa tien rakennekerroksessa.

Tutkimuksen tavoitteena oli erityisesti selvittää komposiittistabiloinnin rakentamisen jälkeen tapahtuvan lujuudenkehityksen nopeutta verrattuna bitumistabiloinnin lujuudenkehitykseen sekä tuotteistaa komposiittistabilointimenetelmää siten, että rakenteen parantamishankkeen eri kohdista saadaan työmaan käyttöön ko. kohtiin sopivat massan täsmäsuhteitukset ja kerrospak-suudet.

Tutkimus kohdistui ensisijaisesti komposiittistabilointimenetelmän toimivuuden ja ominaisuuksien selvittämiseen. Suppeammin tutkimuksessa käsiteltään vertailumenetelminä EKB-emulsio-, vaahtobitumi-, ja masuunihiekka-stabilointi. Koetietutkimuksen yhteydessä kehitettiin ja käytettiin ensi kertaa Suomessa tierakenteen kaukomittausysteemiä, jossa miehittämätön mitausasema mittaa automaattisesti koetien sidotun päällysrakenteen alle syntyvän jännityksen kuorma-auton ylittäessä mittauskohdan sekä lähettää mitaustiedon GSM:n välityksellä tutkijan tietokoneeseen.

Tutkimuksen tuloksena todettiin, että jo vähäiselläkin (1 %) sementtipitoisuudella saavutetaan komposiittistabiloinnilla merkittävä alkulujuuden nopeutuminen verrattuna vaahtobitumistabilointiin. Koekohteessa käytettiin Rapid-sementtiä Yleissementin asemesta, koska pyrittiin nopeasti lisäämään alkulujittumista. Sementtilajin valinnan osalta on tämän tutkimuksen johtopäätös, että Yleissementti soveltuu paremmin stabilointityömaan työnjärjestelyn aikatauluun eikä Rapid-sementtiä kannata käyttää ainakaan ke-sällä, koska stabilointikerros pitäisi saada tiivistetyksi ennen kuin Rapid-sementti alkaa sitoutua.

Korjaustoimenpide paransi tien kantavuutta huomattavasti. Korjauksen jälkeen pudotuspainolaitteella mitatut taipumat olivat enää suunnilleen puolet siitä, mitä ne olivat ennen korjausta. Tämä johtuu ensisijaisesti päällysrakenteen yläosan paljon suuremmasta jäykkyydestä. Ennen korjausta indeksi $D_0 - D_{300}$, mikä kuvaa rakenteen yläosan jäykkyyttä, oli noin 600 μm . Korjauksen jälkeen vastaava indeksi oli komposiittialueilla vain noin 100 ja muilla alueilla noin 180 μm . Rakenteen yläosan suuri jäykkyys pienentää myös pohjamaan taipumaa, kun kuormitus jakaantuu laajemmalle.

Kaikilla rakenteilla tapahtuu lujittumista ajan suhteen. Suurin jäykkyys on kokeen alusta lähtien ollut komposiittistabiloinnilla ja lujuuden kehittyminen näyttää olevan suunnilleen samanlaista kaikilla bitumisilla stabiloinneilla. Lujittuminen on suhteellisesti suurinta bitumisilla stabiloinneilla. Masuunihiekka-stabilointi näyttää tarvitsevan pidemmän ajan lujittumisen kehittymiseen.

Kun stabiloinneista oli kulunut noin 100 päivää marraskuussa, tutkittiin vastemittauksin eri rakenteiden kykyä jakaa kuormitusta tien poikkisuunnassa. Komposiittistabilointi jakoi jännityksen parhaiten ja leveimmälle alueelle.

EKB-emulsiostabilointi ja vaahtobitumistabilointi toimivat suunnilleen samalla tavoin. Masuunihiekkastabiloinin kyky jakaa jännitystä oli selvästi heikompä kuin kuin muilla rakenteilla 100 päivän ikäisinä.

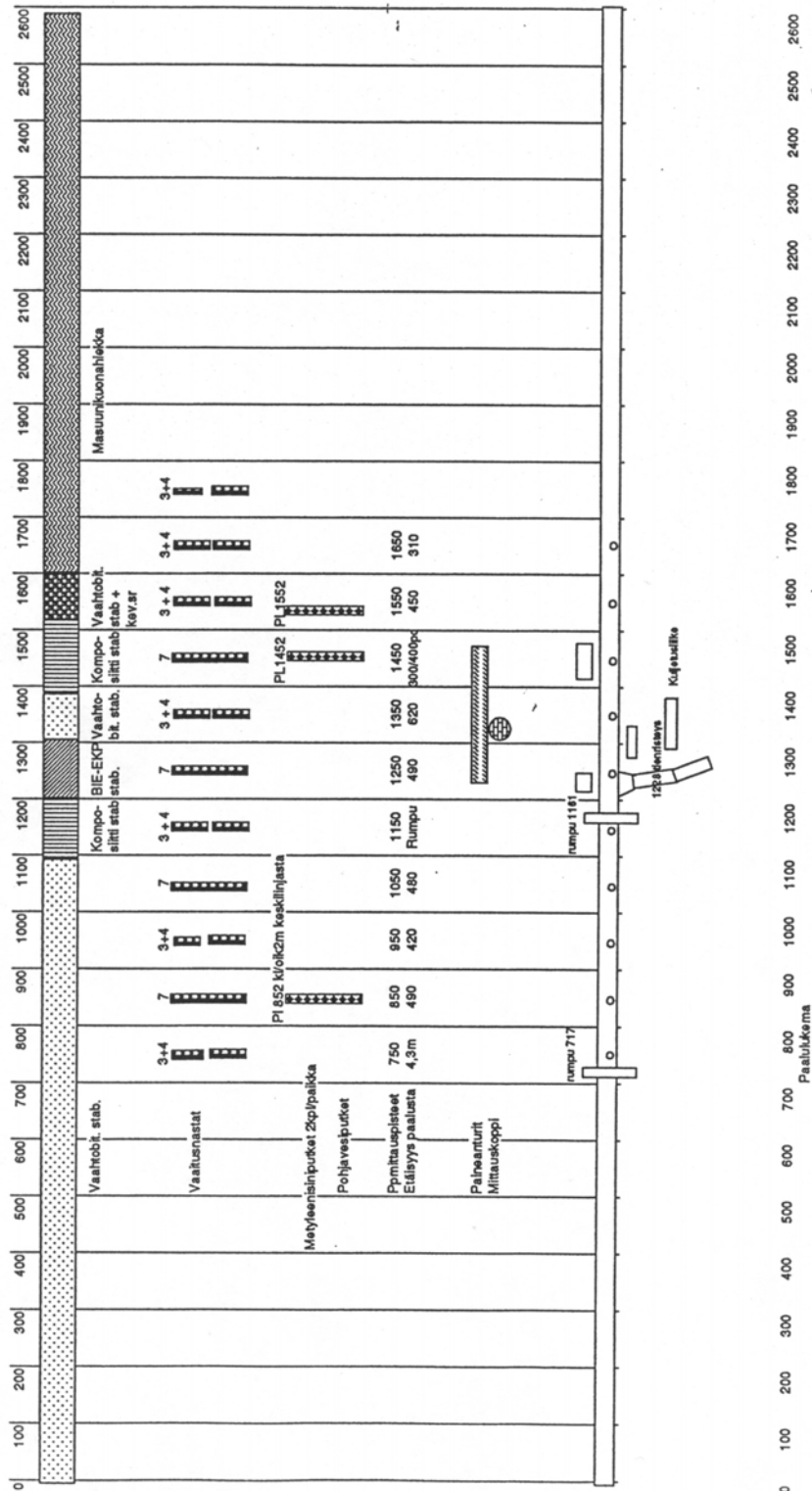
Seuraavien vuosien vastemittauksilla selvisi, että kaikkien muiden paitsi masuunihiekkastabiloinnin lujuus kasvoi edelleen, muttei yhtä nopeasti kuin ensimmäisenä syksynä. Erityisesti vaahtobitumistabiloinnin jännitysten jakokyky lisääntyi varsin selvästi vielä kahden vuoden ikäisenäkin. Sensijaan masuunihiekkastabiloinnin kyky jakaa jännitystä ei ole juurikaan lisääntynyt rakentamisen jälkeen.

Tutkimuksesta käy ilmi, ettei kyseisten rakenteiden jännitysten jakominaisuuksien kehittymistä pystytty havaitsemaan tavanomaisten pudotuspainolaitemittausten perusteella.

11 KIRJALLISUUSVIITTEET

- [1] Salmela, T., Tien rakenteen stabilointi bitumiemulsion avulla. Espoo 1995, Teknillinen korkeakoulu, diplomityö.
- [2] Viherlehto, J., Tierakenteen stabilointi bitumiemulsion ja sementin avulla. Kokeilun seurantaloksia. Turku 1996.
- [3] Laukkanen, K., Leivo, M., Bitumi-sementti-komposiittien soveltuvuus tien päällysrakenteeseen 3. Espoo 1996, TPPT-projekti, M41, väliraportti M6, VTT Yhdyskuntatekniikka
- [4] Laukkanen, K., Leivo, M., Bitumi-sementti-komposiittien ominaisuudet ja tutkimusmenetelmät. Helsinki 1999, Tielaitoksen selvityksiä 42/1999, 66 s + 16 liitt.
- [5] Bitumistabilointi. Helsinki 1994, Tielaitoksen selvityksiä 25/1994, 45 s. + liitt. 3s.
- [6] Kalde bitumenstabiliserte bærelag. Oslo 1997, Statens vegvesen, Håndbok 198.

Koerakennekaavio, Tattaran pt 12895, Nakkila



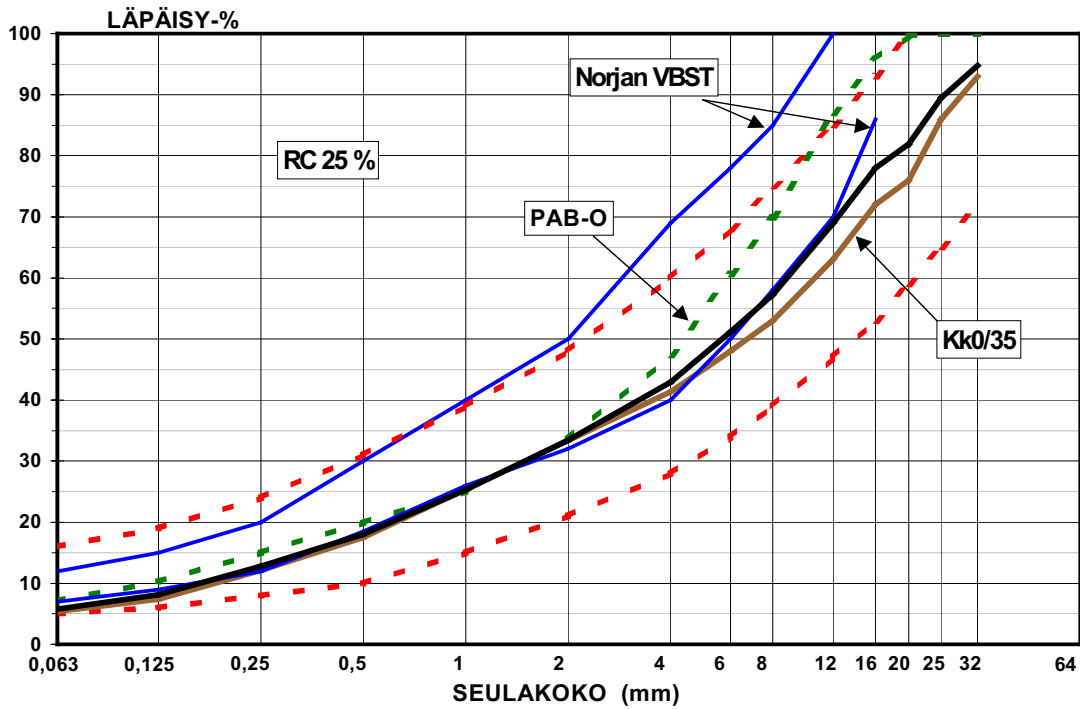
Komposiitin rakeisuus suhteituskokeissa

Vanhan ÖS-rouheen osuus 25 %

Kiviaines: Nakkila 25 % PAB-O + 75 % Kk0/35

Muuta:

Massan tiheys:



Tiheydet:

Seososuudet:

			100,0 %	25,0 %	75,0 %				
Seula	Alaraja	Yläraja	Seos	PAB-O	Kk0/35			Norja	Norja
0,063	5	16	5,8	7,1	5,4			7	12
0,125	6	19	8,1	10,3	7,4			9	15
0,25	8	24	12,8	15,0	12,1			12	20
0,5	10	31	18,1	19,9	17,5			18,5	30
1	15	39	25,3	25,1	25,4			26	40
2	21	48	33,5	33,6	33,4			32	50
4	28	60	42,9	47,3	41,4			40	69
6	34	68	51,2	60,6	48,0			50	78
8	39	75	57,2	69,9	53,0			58	85
12	47	85	69,0	87,0	63,0			70	100
16	53	93	78,0	95,8	72,0			86	
20	59	100	81,9	99,6	76,0				
25	65		89,5	100	86				
32	72		94,8	100	93				

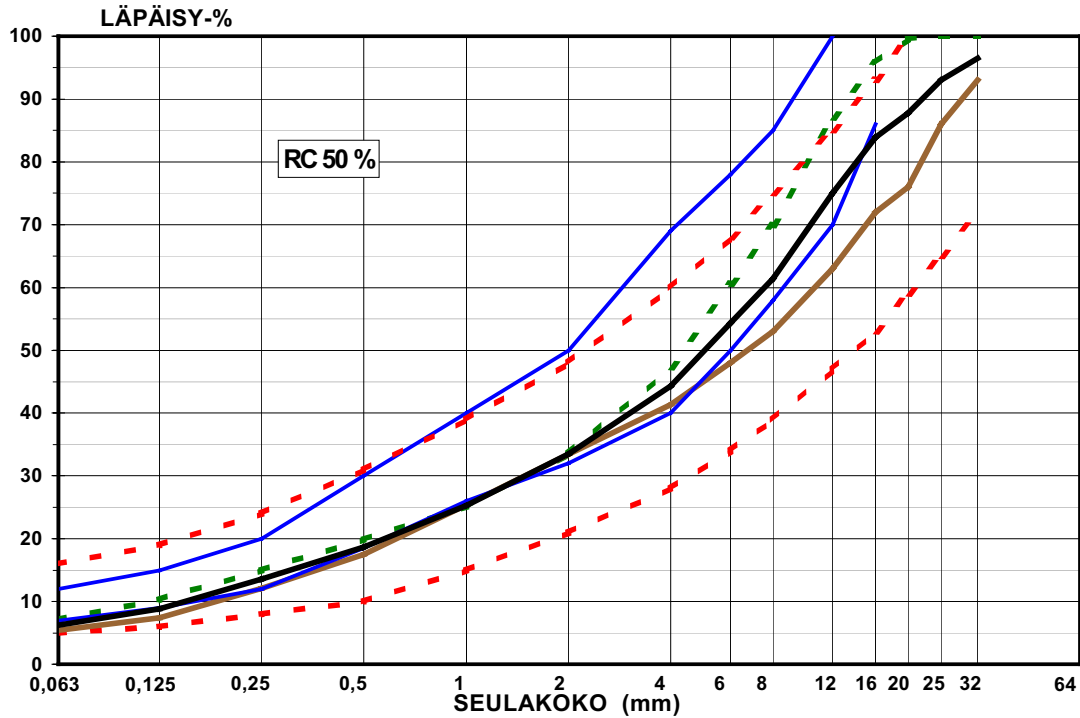
Komposiitin rakeisuus suhteituskokeissa

Vanhan ÖS-rouheen osuus 50 %

Kiviaines: Nakkila 50 % PAB-O + 50 % Kk0/35

Muuta:

Massan tiheys:



Tiheydet:

Seososuudet:			100,0 %	50,0 %	50,0 %				
Seula	Alaraja	Yläraja	Seos	PAB-0	Kk0/35			Norja	Norja
0,063	5	16	6,3	7,1	5,4			7	12
0,125	6	19	8,9	10,3	7,4			9	15
0,25	8	24	13,6	15,0	12,1			12	20
0,5	10	31	18,7	19,9	17,5			18,5	30
1	15	39	25,3	25,1	25,4			26	40
2	21	48	33,5	33,6	33,4			32	50
4	28	60	44,4	47,3	41,4			40	69
6	34	68	54,3	60,6	48,0			50	78
8	39	75	61,5	69,9	53,0			58	85
12	47	85	75,0	87,0	63,0			70	100
16	53	93	83,9	95,8	72,0			86	
20	59	100	87,8	99,6	76,0				
25	65		93,0	100	86				
32	72		96,5	100	93				

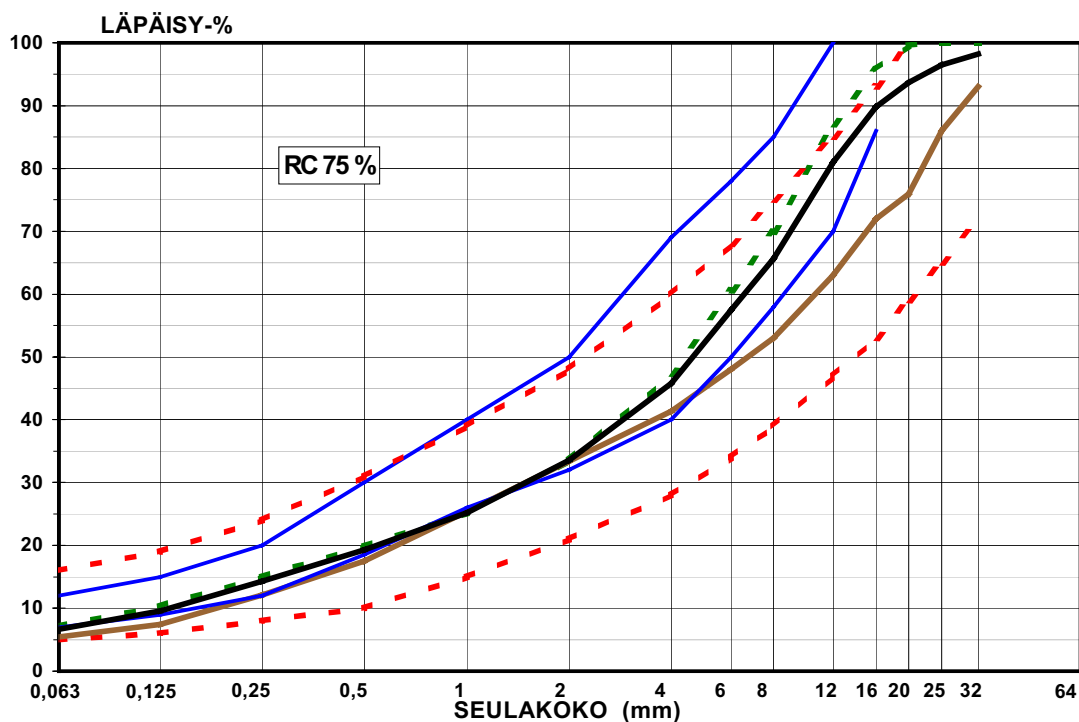
Komposiitin rakeisuus suhteituskokeissa

Vanhan ÖS-rouheen osuus 75 %

Kiviaines: Nakkila 75 % PAB-O + 25 % Kk0/35

Muuta:

Massan tiheys:



Tiheydet:

Seososuudet:

			100,0 %	75,0 %	25,0 %				
Seula	Alaraja	Yläaraja	Seos	PAB-0	Kk0/35			Norja	Norja
0,063	5	16	6,7	7,1	5,4			7	12
0,125	6	19	9,6	10,3	7,4			9	15
0,25	8	24	14,3	15,0	12,1			12	20
0,5	10	31	19,3	19,9	17,5			18,5	30
1	15	39	25,2	25,1	25,4			26	40
2	21	48	33,6	33,6	33,4			32	50
4	28	60	45,8	47,3	41,4			40	69
6	34	68	57,5	60,6	48,0			50	78
8	39	75	65,7	69,9	53,0			58	85
12	47	85	81,0	87,0	63,0			70	100
16	53	93	89,9	95,8	72,0			86	
20	59	100	93,7	99,6	76,0				
25	65		96,5	100	86				
32	72		98,3	100	93				

Tarvittavan lisäbitumimäärän vaihtelu tielinjalla, jos koko kohde tehtäisiin vaahtobitumistabiloinnilla

paalu	Lisäsideainetarve %			
	RC20%	RC25%	RC33%	RC50%
70	3,3	3,2	3,1	2,8
140	3,2	3,1	3,0	2,7
210	3,2	3,1	3,0	2,7
320	2,8	2,8	2,7	2,4
400	2,9	2,8	2,7	2,5
480	2,9	2,8	2,7	2,5
560	3,0	2,9	2,8	2,6
640	3,0	2,9	2,8	2,5
790	3,0	2,9	2,8	2,5
850	3,3	3,2	3,0	2,7
950	3,0	2,9	2,8	2,6
1010	2,9	2,8	2,7	2,5
1070	3,1	3,0	2,9	2,6
1130	3,0	2,9	2,8	2,6
1280	3,1	3,0	2,9	2,6
1340	3,0	2,9	2,8	2,6
1540	3,0	3,0	2,9	2,6
1640	3,1	3,0	2,9	2,7
1780	2,9	2,8	2,7	2,5
1900	3,0	2,9	2,8	2,6
2020	3,1	3,0	2,9	2,6
2180	3,1	3,0	2,9	2,7
2240	3,2	3,1	3,0	2,7
2280	3,1	3,0	2,9	2,7
2330	3,2	3,1	3,0	2,7
2380	3,2	3,1	3,0	2,7
2410	3,2	3,1	2,9	2,7
2445	2,9	2,9	2,7	2,5
2470	3,0	2,9	2,8	2,5
2495	3,1	3,0	2,9	2,7
2540	3,1	3,0	2,9	2,6
2578	3,0	3,0	2,8	2,6

RC = rouheen osuus massasta. Lisäbitumimäärä on esitetty myös kuvassa 10.

Teknisiä tietoja Optirocin Leca-kevytsorasta

Tarkistusmittaus

Tuotantolaitos:

Leca-soratehdas KUUSANKOSKI

OPTIROC

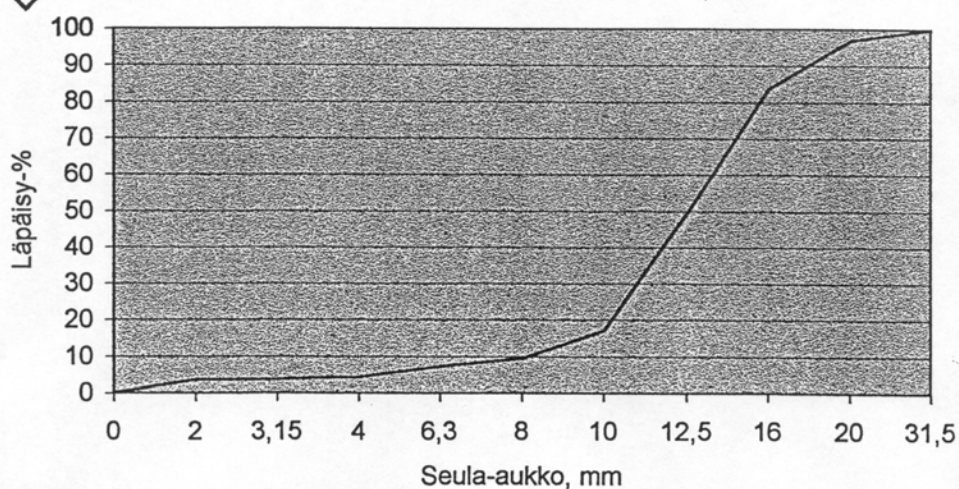
Myyntilajike:

KS432/TEE

Fibo Exclay Eesti AS



Tyypillinen seulonta käyrä



Seulonta käyrä:

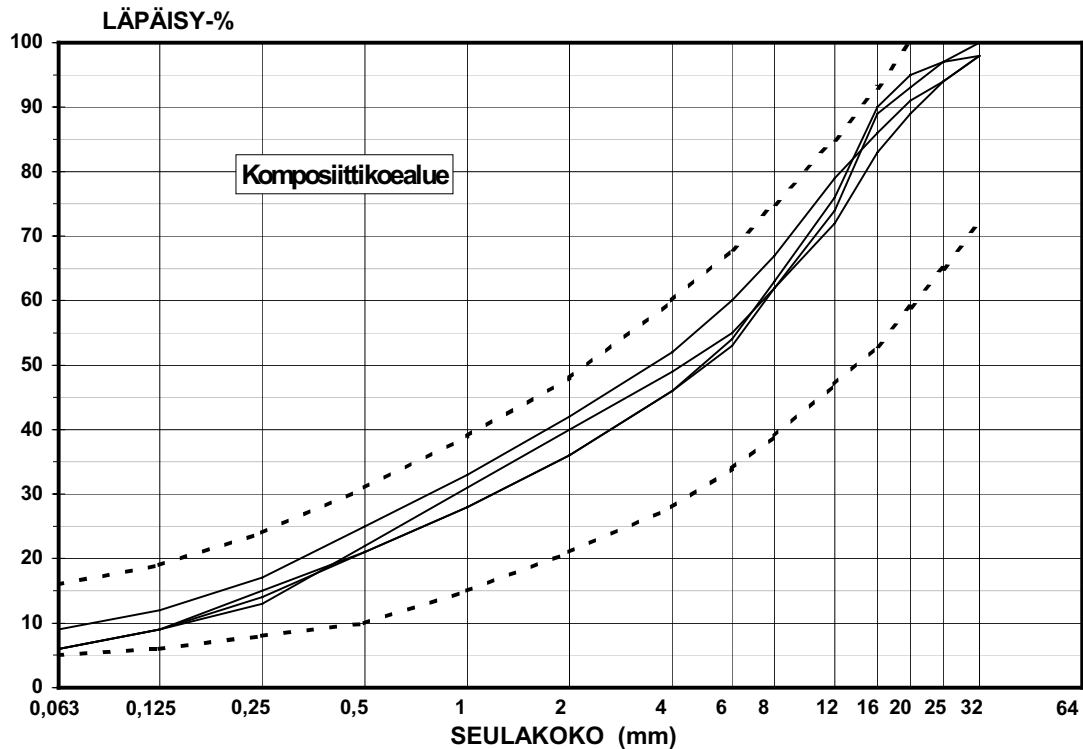
Partikkelien koko	2	4	8	10	12,5	16	31,5
Keskiarvo (läpäisy-%)	3	4	9	17	49	84	100
Maksimiarvot		15					85

Ominaisuuksia:

	Tilavuuspaino kg/m ³	Lieriölujuus MPa	Kosteus-%
Keskiarvo	304	1,05	3,92

Komposiittikoealueiden massanäytteiden rakeisuus (ennen sementin lisäystä)

Näyte	Paalu	Näytesyvyys [cm]
1	1170 oik	0...5
2	- " -	8...12
3	1420 oik	0...7,5
4	- " -	7,5...15



BST

Asf.normit

ÖS-rouhe+Kk esijärsinnän jälkeen

Seula	Alaraja	Yläraja	PI 1170 PI 1170 PI 1420 PI 1420				ka
			Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3	Näyte 4	
0,063	5	16	9,0	6,0	6,0	6,0	6,8
0,125	6	19	12,0	9,0	9,0	9,0	9,8
0,25	8	24	17,0	13,0	15,0	14,0	14,8
0,5	10	31	25,0	22,0	21,0	21,0	22,3
1	15	39	33,0	31,0	28,0	28,0	30,0
2	21	48	42,0	40,0	36,0	36,0	38,5
4	28	60	52,0	49,0	46,0	46,0	48,3
6	34	68	60,0	55,0	53,0	54,0	55,5
8	39	75	67,0	62,0	62,0	63,0	63,5
12	47	85	79,0	72,0	74,0	76,0	75,3
16	53	93	86,0	83,0	89,0	90,0	87,0
20	59	100	91,0	89,0	93,0	95,0	92,0
25	65		94	94	97	97,0	95,5
32	72		98	98	100	98,0	98,5

Koetieltä otettujen komposiittimassanäytteiden halkaisuvetolujuus

Näyte	Halkaisuvetolujuus 1d/ 22 °C [kN]		
	PL 1420 vas	PL 1420 oik	PL 1180 oik
1	73		
2	86		
5		124	
6		123	
9			121
10			121
11			110
12			123
min	73	123	110
ka	80	123	119
max	86	124	123
	Halkaisuvetolujuus 28d/ 10 °C [kN]		
	PL 1420 vas	PL 1420 oik	PL 1180 oik
3	335		
4	422		
7		444	
8		447	
13			464
14			497
15			447
16			553
min	335	444	447
ka	378	446	490
max	422	447	553

Koetieltä otettujen EKB-massanäytteiden koostumus

		316/B99	317/B99	318/B99	319/B99
paalu		1224	1280	1260	1290
kaista		vasen	vasen	oikea	oikea
Massan rakeisuus	mm	läp-%	läp-%	läp-%	läp-%
(ennen stabilointia)	45	100	100	100	100
	31,5	96,3	100	89,7	100
	22,4	86,6	94,5	83,3	93,7
	16	72,5	82,3	71,7	81,5
	11,2	57,1	69,8	61,2	69,2
	8	44,6	60,5	49,9	58,4
	5,6	34,4	51,6	40,3	46,4
	4	25,7	41,4	30,8	34,5
	2	13,4	23,4	16,8	16,4
	1	5,2	9,5	6,7	4,9
	0,5	1,9	3,9	2,6	1,6
	0,25	1	2,1	1,3	0,9
	0,125	0,4	1	0,5	0,4
	0,063	0,2	0,4	0,2	0,1
Kiviaineksen rakeisuus	mm	läp-%	läp-%	läp-%	läp-%
(stabiloinnin jälkeen	45	100	100	100	100
ennen tiivistystä)	31,5	95	97,1	96,6	100
	22,4	87,5	93,9	94,1	92,3
	16	80,7	88	87,7	87,3
	11,2	69,7	76,5	76,9	77,5
	8	58,2	68,3	67,6	69,7
	5,6	50,3	61,3	58,8	62,7
	4	44,5	55,1	51,8	56
	2	36,3	45,5	42,1	46,3
	1	28,7	35,8	33,3	36,2
	0,5	21,6	26,1	24,5	26,2
	0,25	16,1	18,9	17,8	18,7
	0,125	11	12,9	11,9	12,4
	0,063	7,6	9	8,3	8,7
Massan kosteuspitoisuus	%	5,9	7,3	6,9	8
Sideainepitoisuus	p-%	4,4	4,6	4,5	7,4
Tunkeuma massasta	1/10 mm	48	25	40	24
uutetusta bitumista					

Stabilointiurakoitsijan laadunvalvontamittausten tuloksia

Tilaaja	Tielaitos päällystysyksikkö				Urakka	EPA1/1999/BST			
Urakoitsija	Andament Oy				Työkohte	Pt 12895 Tattaran Pt			
Mittaaja	Matti Juola, Jarkko Pärkkä				Työlaji	Koekohte			
pvm.	pl	kaltevuus %		paksuus cm		tiiveys %		Huom	
		ohje	4			ohje	92/95		
		v	o	v	o	v	o		
27.-29.7	100	6,8	-8,1	kaarre	16	16,5	94,1	95	sovitettu vanhaan
	200	-2,8	-3,8	kaarre					kuivatilavuuspaino 2205kg/m2
	300	-3,6	-3,9		21,5	21			vaahdotuskoe yli 15 kertainen
	400	-3,8	-4,2				96,2	95,1	
	500	-4	-4,2		16,5	16			
	600	-3,7	-3,9						
	700	-3,8	-4,1				97,3	97	
	800	-3,8	-3,8		16	16			
	900	-4,1	-3,5						
	1000	-4,1	-3,5				96,7	98,2	
	1100	-4,2	-3,8		13	13			vaahdotuskoe yli 15 kertainen
	1200	-4,1	-2,2	kaarre					sementtipunnitus 2,75kg/m2
	1300	-3,8	-2,8	kaarre			95,1	95,7	
	1400	-0,7	-4,2	kaarre	17	18			sementtipunnitus 3,45kg/m2
	1550	-4,1	-4,1						
	1700	2,1	-5,8	kaarre			95,4	95,3	sovitettu vanhaan
	1800	-4	-3,9						
	1900	-3,9	-3,7		17	15			
	2000	-3,6	-3,8				94,8	94,6	
	2100	-3,7	-3,5						
	2200	2	-4,5	kaarre	16	15			
	2300	-3,6	-3,7				93,8	96,1	
	2400	0,7	-4,4	kaarre					sementtipunnitus 3,6kg/m2
	2500	-3,8	-4,1		17	16			
	2560	-4,9	-1	kaarre	16	16,5	96,1	95,1	sovitettu vanhaan
					ka	16,5	ka	95,6	

Masuunihiekkakoealueen mittaustulosten yhdistelmä



***** TIELAITOS *****

Tuotanto
Projekti- ja Päällistysyksikkö
Pt 12895 Tattaran Pt
Stabiilointi- ja pohjatyöurakka PPA 5/1999 /EPA1

Liite 11

Masuunihiekkakoealueen mittaustulosten yhdistelmä

Koekohde

Käytetty masuunihiekka

Hankkeen ohjearvo:	15,0	kg/m ²
Hankkeen keskiarvo:	14,7	kg/m ²
Hankkeen keskiarvo:	4,3	%

Punnittu sementti:

Hankkeen ohjearvo:	3,50	kg/m ²
Hankkeen keskiarvo:	3,80	kg/m ²
Suurin mitattu arvo:	3,80	kg/m ²
Pienin mitattu arvo:	3,60	kg/m ²
Hevaintojen keskihajonta:	0,00	kg/m ²
Yli 5% suurempia osten alituksia:	0	kpl
Yli 5% suurempia osten ylityksiä:	0	kpl
Hevaintoja yhteensä:	0	kpl

Poikkikalistutus:

Ohjearvo:	4,0	%
Yli +/-0.5% poikkeamia:	0	kpl
Hevaintoja yhteensä:	20	kpl

Ritumiprosentti:

Hankkeen keskiarvo:	0,77	%
Suurin mitattu arvo:	0,89	%
Pienin mitattu arvo:	0,65	%
Hevaintojen keskihajonta:	0,12	%
Hevaintoja yhteensä:	2	kpl

Troxler - tiiväys:

Hankkeen ohjekeskiarvo >:	95,0	%
Hankkeen keskiarvo:	95,1	%
Suurin mitattu arvo:	96,1	%
Pienin mitattu arvo:	93,8	%
Hevaintojen keskihajonta:	0,7	%
92 % alituskertoja yht:	0	kpl
Hevaintoja yhteensä:	8	kpl

Esiakointusyrinän annan stabiilointia

Poikkikalistutus:

Ohjearvo:	4,0	%
Yli +/-0.5% poikkeamia:	0	kpl
Hevaintoja yhteensä:	0	kpl

Totautunut kerrosvahvuus:

Hankkeen ohjearvo:	150	mm
Hankkeen keskiarvo:	150	mm
Suurin mitattu arvo:	150	mm
Pienin mitattu arvo:	150	mm
Hevaintojen keskihajonta:	0	mm
Yli 30mm suurempia ohjearvon alituksia:	0	kpl
Yli 30mm suurempia ohjearvon ylityksiä:	0	kpl
Hevaintoja yhteensä:	4	kpl

Tasaisuus:

Yli 20 mm / 5m poikkeamia:	0	kpl
Hevaintoja yhteensä:	0	kpl

Kosteus wk %:

Hankkeen keskiarvo:	4,21	%
Suurin mitattu arvo:	5,42	%
Pienin mitattu arvo:	3,00	%
Hevaintojen keskihajonta:	1,21	%
Hevaintoja yhteensä:	2	kpl

Troxler - kosteus

Hankkeen keskiarvo:	5,5	%
Suurin mitattu arvo:	6,2	%
Pienin mitattu arvo:	4,9	%
Hevaintojen keskihajonta:	0,5	%
Hevaintoja yhteensä:	4	kpl

Koelieriöt:

Ennakkokoelieriöt 0.5 % sem.

1 vrk:	0,4	Mpa
7 vrk:	0,6	Mpa
28 vrk:	0,7	Mpa
Hevaintojen keskihajonta:	0,0	Mpa
Puristettuja koelieriöitä yht:	1	kpl

Työnaikaiset koelieriöt, 1,7,28,91,365 vrk puristatut ja puristamattomat:

Koelieriöiden lukumäärä:	2	kpl
Valmistuspainojen keskiarvo:	2090	g
Suurin valmistuspaino:	2099	g
Pienin valmistuspaino:	2081	g
Painojen keskihajonta:	9	g

28 vrk:

Puristuslujuuksien ka:	1,4	Mpa
Suurin hevahtu arvo:	1,4	Mpa
Pienin hevahtu arvo:	1,3	Mpa
Hevaintojen keskihajonta:	0,0	Mpa
Puristettuja koelieriöitä yht:	2	kpl

Ennakkokoelieriöt 1.0 % sem.

1 vrk:	0,6	Mpa
7 vrk:	1,0	Mpa
28 vrk:	1,1	Mpa
Hevaintojen keskihajonta:	0,0	Mpa
Puristettuja koelieriöitä yht:	1	kpl

2 vrk:

Puristuslujuuksien ka:	0,9	Mpa
Suurin hevahtu arvo:	0,9	Mpa
Pienin hevahtu arvo:	0,9	Mpa
Hevaintojen keskihajonta:	0,0	Mpa
Puristettuja koelieriöitä yht:	2	kpl

91 vrk:

Puristuslujuuksien ka:	1,9	Mpa
Suurin hevahtu arvo:	2,0	Mpa
Pienin hevahtu arvo:	1,8	Mpa
Hevaintojen keskihajonta:	0,1	kpl
Puristettuja koelieriöitä yht:	2	Mpa

Päällystysurakan loppulaskelma

URAKAN LOPPULASKELMA

Hyväksyntä:

Urakoitsija:
Lemminkäinen Oy

Urakka:
EPASVT2

Pilotti:
Turku

Tielaitos

Tulostusoptioit:

Kaikki sek. raaka-aineet mukana

Päiväys:
15.06.1999 - 03.09.1999

KOHDE

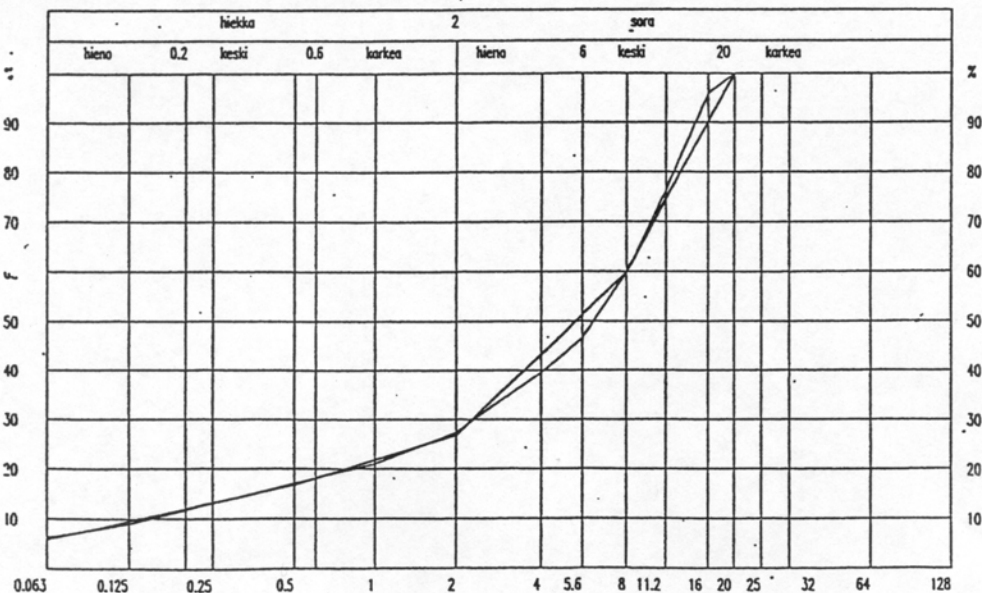
Kohde	Kohteen selite	Tilaaja	Konesemat
601	V2 Tiliinäkä-Lentosaaran eritasoliittymä	Tielaitos	Pirunkynä,
8410	Mt 2551 Fritila - Pori Jk-pp-ile	Tielaitos	Pirunkynä,
8448	Pt 12695 Taitaran paikallistie	Tielaitos	Pirunkynä,
8518	Vt 11 Harjunpääntien silta	Tielaitos	Pirunkynä,
8530	VT2 Jatke	Tielaitos	Pirunkynä,

KOHDEKUSTANNUKSET

Kohde		Toimenpide		Veloitusperuste		Määrä		Yks		määrä		yht mk		Toteutunut levitys		Valmistettu		Asfaltin valmistus		Myynti		Sidelaine		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot		Täytejauhe		oh		tot
-------	--	------------	--	-----------------	--	-------	--	-----	--	-------	--	--------	--	--------------------	--	-------------	--	--------------------	--	--------	--	-----------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----	--	------------	--	----	--	-----

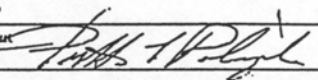
Koetien uuden päällysteen sideainepitoisuus ja rakeisuus

Tielaitos		Näytetutkimustulokset																		
PAB16	Luokka D 1 2 3	Seulonla Kuuma	Ajoradalla 3	Tp T1/1999	Pirunkytösi. Uvika	Lemminkäinen OYJ	02.08.99	Tielaitos	8248	Pt	12895	Totlaron Pt								
PAB16	Side-Täyte-%Vesi-%	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	18	20	25	32	40	50	64	128
Kpl	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3
Kestiarvo	3.60	0.08	6.33	9.10	13.27	17.30	21.17	27.43	39.67	46.67	60.00	76.33	96.00		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Kestähajonta	0.15	0.05	0.35	0.40	0.61	0.92	1.17	1.65	2.63	2.52	3.00	3.51	1.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Poikkeamat Kpl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Poikkeamat %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TMP-%	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	1.96	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ansohjearvo	3.10		3.00		12.00		21.00			53.00					100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Aritus kpl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Aritus %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ylöshjearvo	4.10		9.00		22.00		33.00			67.00					100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Ylitys kpl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Ylitys %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lask. ohje	3.60		6.00		17.00		27.00			60.00					100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Alku kpl	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3
Ohjearvo	3.50		6.00		17.00		27.00			60.00					100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



Markku Kurva

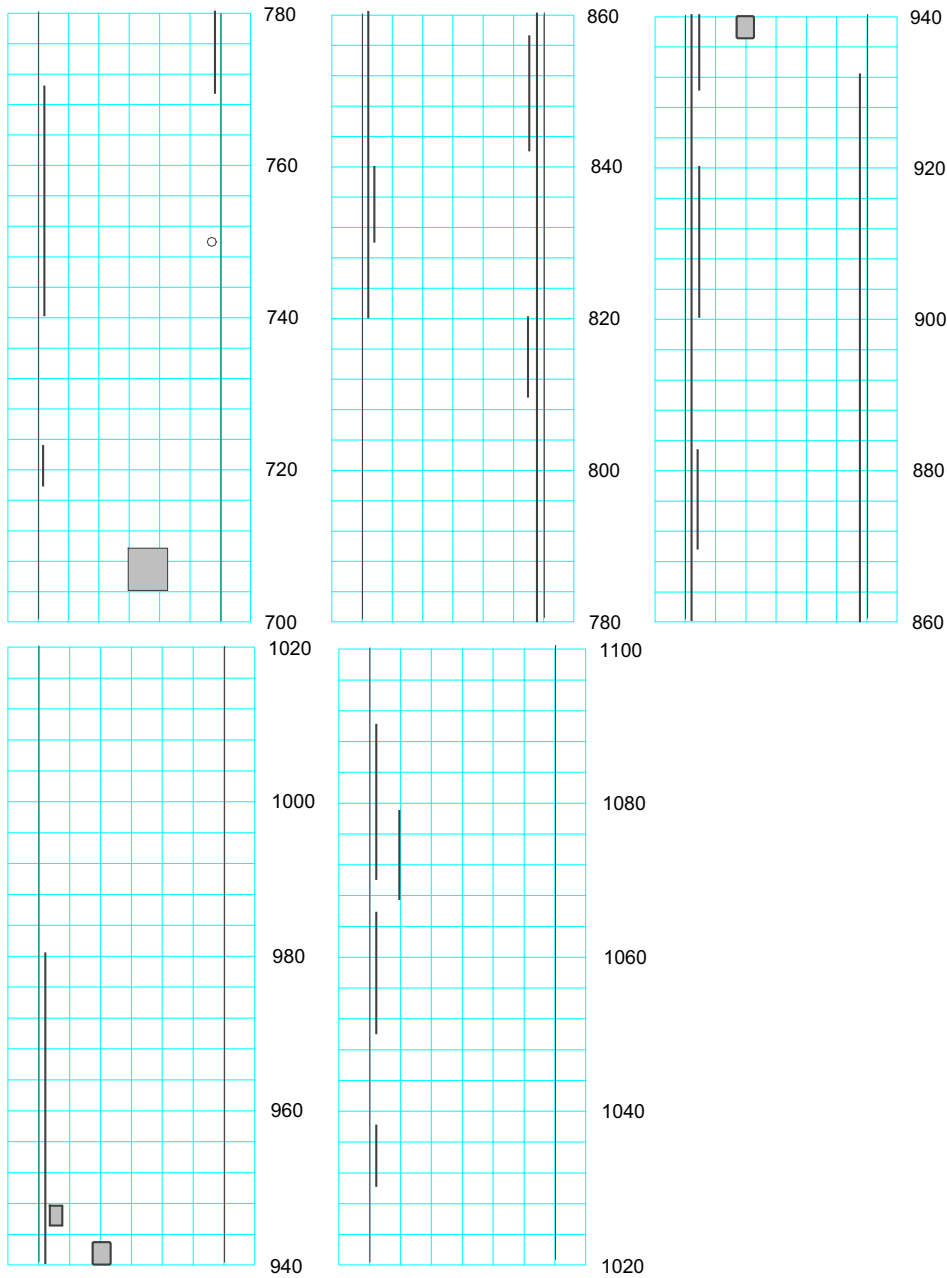
Koetien päällystekiviaineksen ominaisuudet

 LEMMINKÄINEN Keskuslaboratorio		AINEENKOETUSSELOSTE KIVIAINESNÄYTE		Dno Päiväys	99/00115 25.05.99
Tutkimuksen tilaaja	LOY/PÄÄLL.YKSIKKÖ	Ottoaika	20.05.99		
Työn tilaaja	PORI	Näytteen ottaja	PENTTI VUORI		
Työmaa	PORIN KAUPUNKI	Työmaan no	0247		
Työkohde		Laji	KaM 8/20		
Tarkennus		Tarkennus	D386		
Tuotantolaitos	PIRUNKYNSI				
LOS ANGELES-LUKU KIINTOTIHEYS kg/m³ KUULAMYLLYÄRVO LITTEYSLUKU LITTEYSLUKU		Mitattu 19,7 2756,0 10,2 10,0 11,0	Ohjearvo SFS-EN 1097-2 PANK-2107 SFS-EN 1097-9 SFS-EN933-3/8-12,5 SFS-EN933-3/12,5-20		
Lisätietoja					
Reportin jakoku tilaajan lisäksi					
Tehnyt M. Mertaamo			Tarkastanut 		

Nakkila, vauriot keväällä 2001

VAAHTOBITUMISTABILOINTI (SYVÄJYRSINTÄ 350 MM) PLV. 700 –900

VAAHTOBITUMISTABILOINTI PLV. 900 -1100



Liite 15.2

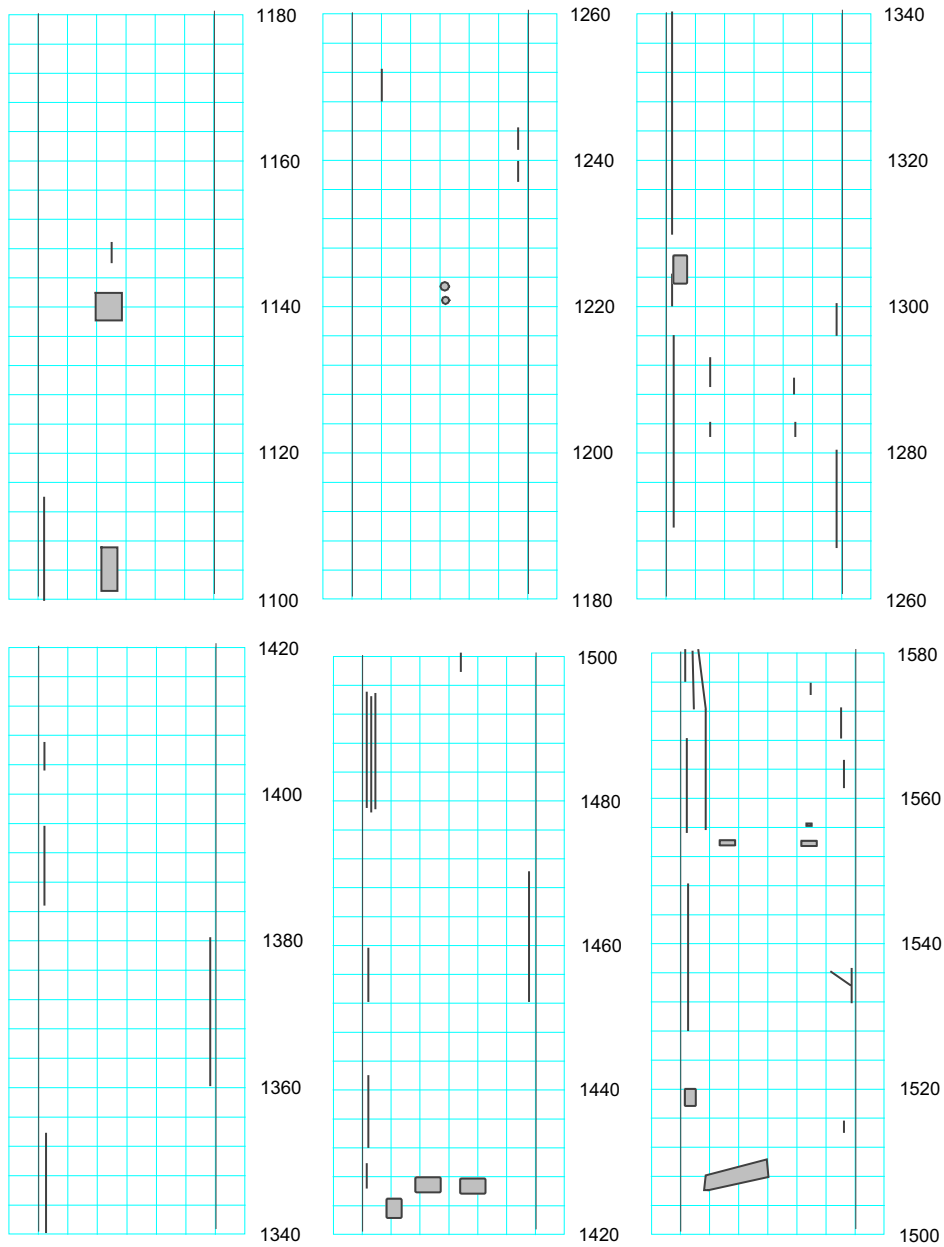
KOMPOSIITTISTABILOINTI PLV. 1100 – 1200

EKB – EMULSIOSTABILOINTI PLV. 1200 – 1310

VAAHTOBITUMISTABILOINTI PLV. 1310 – 1380

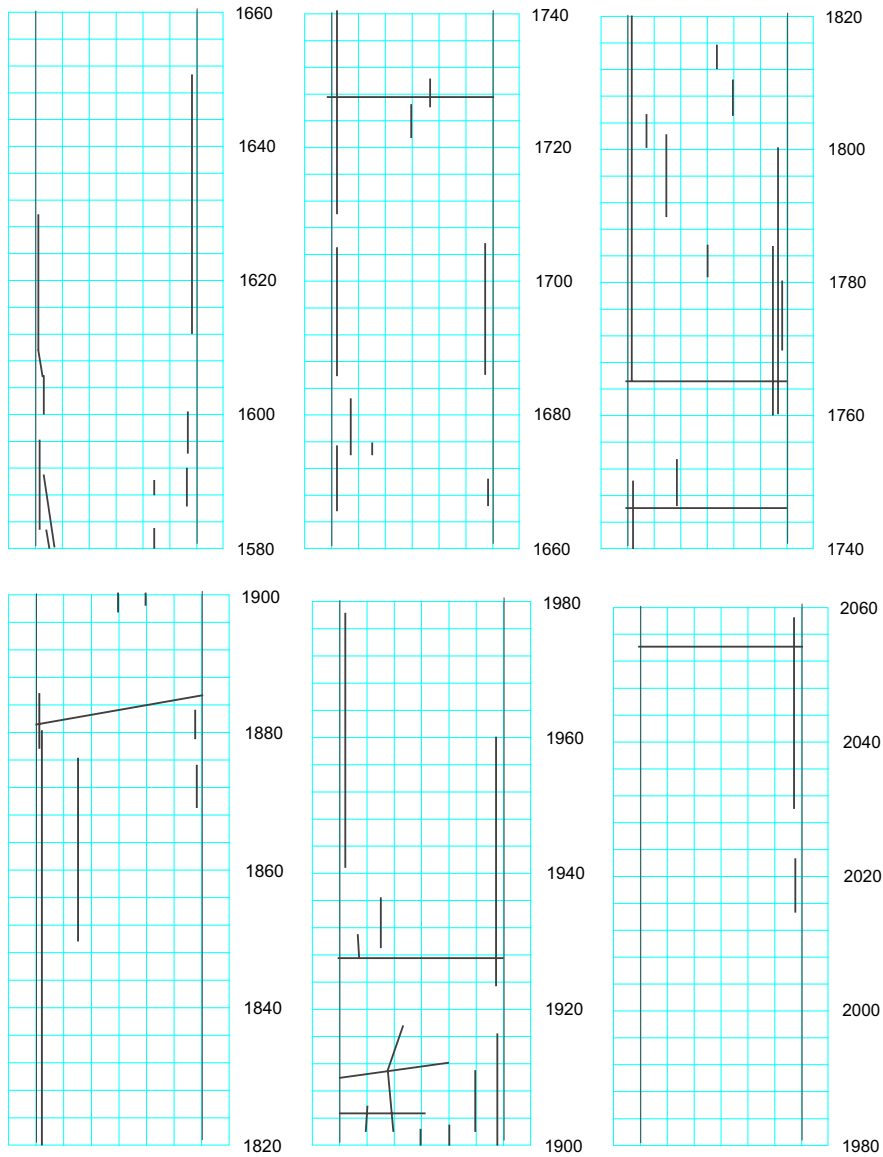
KOMPOSIITTISTABILOINTI PLV. 1380 – 1520

VAAHTOBITUMISTABILOINTI + KEVYTSORA PLV. 1520 – 1600



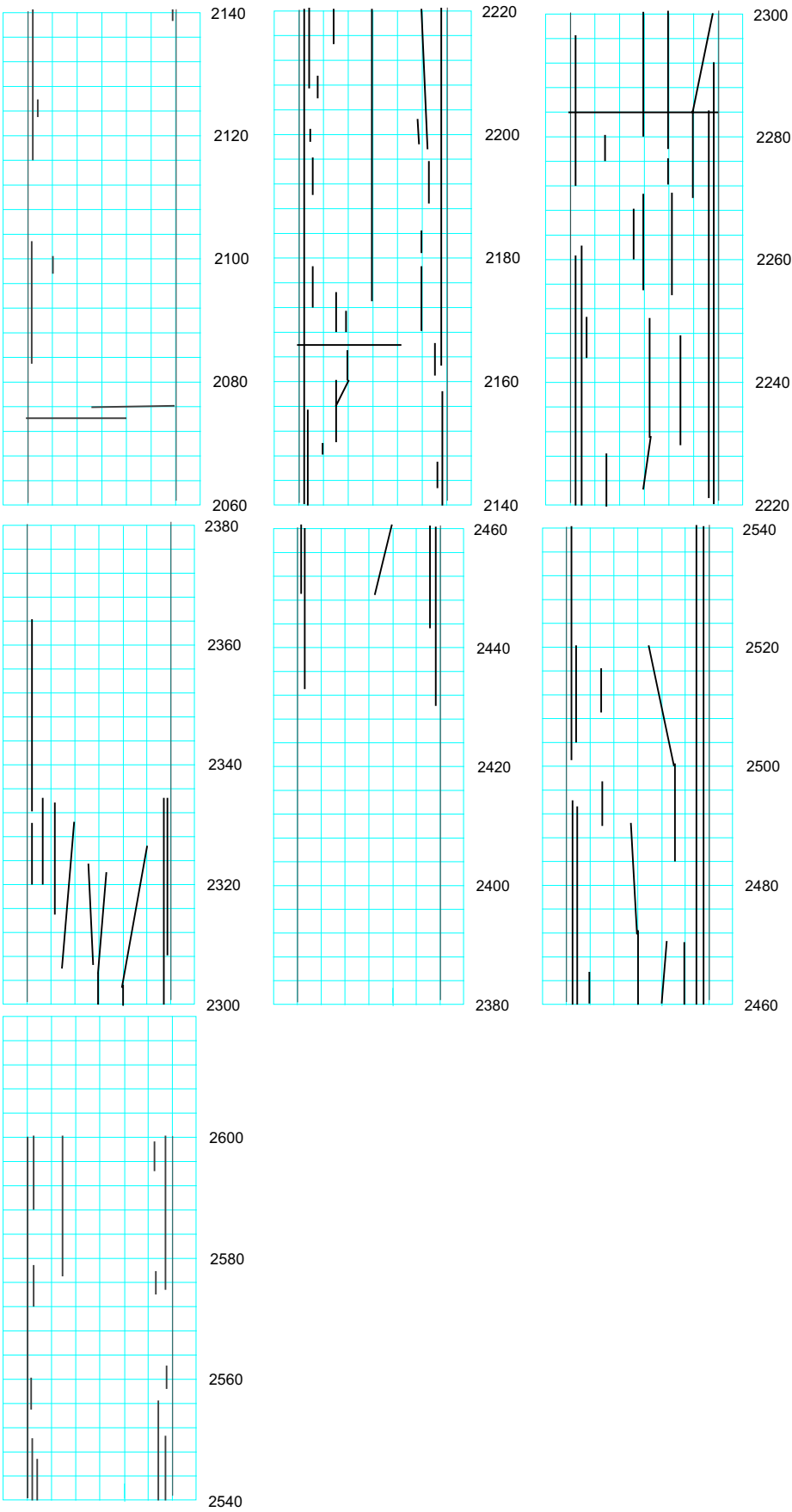
VAAHTOBITUMISTABILOINTI + KEVYTSORA PLV. 1520 – 1600

MASUUNIHIEKKASTABILOINTI PLV. 1600 – 2600



Liite 15.4

MASUUNIHIEKKASTABILOINTI PLV. 1600 – 2600

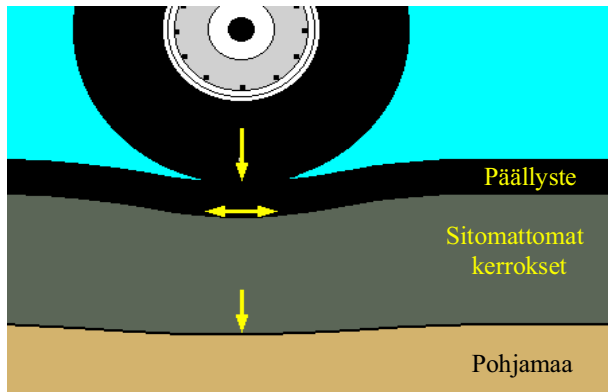


VASTEMITTAUKSET TIERAKENTEESSE

(Erityissovellus kaukomittausta varten)

1 YLEISTÄ VTT:N VASTEMITTAUKSISTA

Auton liikkuessa tiellä päällyste taipuu ja tierakenteeseen aiheutuu jännityksiä ja muodonmuutoksia kuvan 1 mukaisesti. Tierakenteen kestävyys ja eliniän kannalta merkittävää on vain raskaalla liikenteellä. Henkilöautot rasittavat tietä vain nastarengaskulutuksen kautta.



Kuva 1. Pyöräkuorman tiehen aiheuttamat muodonmuutokset.

Muodonmuutoksia, venymiä ja puristumia voidaan mitata venymäliuskoilla (strain gauge), joissa on vierekkäin ohuita (konstantaani-)lankoja. Liuskan venyessä langan sähkövastus kasvaa ja lyhetessä pienenee. Vastuksen muutos on suoraan verrannollinen venymään tai puristumaan.

Mitattavat venymät tai puristumat ovat suhteellisia muodonmuutoksia (ϵ) eli

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

ja ne ilmaistaan yleensä mikrostraineina (μS), joka tarkoittaa yhden miljoonasosan suhteellista muodonmuutosta, esim. $\mu\text{m}/\text{m}$. Venymäliuskamittaukset ovat periaatteessa yksinkertaisia. Liuska liimataan mitattavalle pinnalle ja mitataan muodonmuutoksen aiheuttama vastuksen muutos. Mitattava suure on suhteellinen muodonmuutos, joka kalibrointikertoimilla muunnetaan jännitykseksi, taipumaksi jne.

2 ANTURITYYPIT

2.1 Venymäanturit

Asfalttipäällysteestä mitattaessa ongelmana on se, miten saada venymäliuska asfaltin alapintaan niin, että se toimii monoliittisena osana asfalttia. VTT:n tekemissä antureissa ongelma on ratkaistu liimaamalla venymäliuska suoraan asfalttikiekkoon, joka taas on liimattu asfalttikerrokseen siten, että liimakerroksen paksuus on alle 1 mm. Näin valmistettu "mittausanturi" on todettu vuosien mittauskokemusten perusteella toimivan täysin päällysteen osana.

Liite 16.2

2.2 Paineanturit

Sitomattomien kerrosten dynaamisissa painemittauksissa anturina käytetään yleensä painerasiaa. Se on jäykkäseinäinen tiivis astia, joka on työstetty metallisylinteristä siten, että yläosaan tulee sopiva tasapaksu kalvo. Kalvon paksuus määrää anturin herkkyyden. Kalvon sisäpintaan liimataan erityisesti paineantureita varten suunniteltu venymäliuska, jonka avulla painetta mitataan.

Koska paineanturit asennetaan sitomattomien kerrosten sisään, ne aiheuttavat ympäristöään jäykempinä luonnollisesti epäjatkuvuuskohdan homogeeniseen materiaaliin ja pyrkivät muuttamaan lähiympäristönsä jännityskäyttäytymistä. Tämän minimoimiseksi kalvon paksuus valitaan ympäröivän maamateriaalin ja käytettävien kuormitusten perusteella sopivaksi. Kalvon paksuus määrää herkkyyden vain karkeasti, joten kaikki anturit on erikseen kalibroitava.

Pistekuormien ja epätasaisten painejakautumien välttämiseksi asennuksen yhteydessä estetään suurten kivirakeiden joutuminen painerasioiden välittömään läheisyyteen painamalla rasian päälle muutama mm hienoa materiaalia ja karkeuttamalla sitä ylöspäin mentäessä. Rasia aiheuttaa kuitenkin niin suuren epäjatkuvuuskohdan tutkittavaan materiaaliin, että absoluuttisesti voidaan päästä vain 20%:n tarkkuuteen. Eri kuormitusten aiheuttamia suhteellisia eroja niillä pystytään mittaamaan niiden luonteen takia kuitenkin hyvinkin tarkasti.

2.3 Taipuma-anturit

Tien pinnan taipumaa mitataan myös venymäliuskatekniikalla. Mittaavassa anturissa on liuskoja liimattu teräskieleen täyssillaksi. Anturi on kalibroitu laboratoriossa pystysuoralle liikkeelle. Referenssisitasoksi on tierakenteeseen asennettu pystysuoraan terästanko, jonka yläpäähän anturi tukeutuu. Kitka terästangon ja ympäröivän maan väliltä on estetty suojaputkella ja anturin alapää on ankkuroitu betonilietteellä. Anturi mittaa tien pinnan ja terästangon kärjen tason välillä tapahtuvaa taipumaa.

Taipumaa voidaan mitata tällä systeemillä myös kiihtyvyysantureilla. Joitakin kokeiluja on tehty, mutta sopivaa anturia ei ole vielä löytynyt.

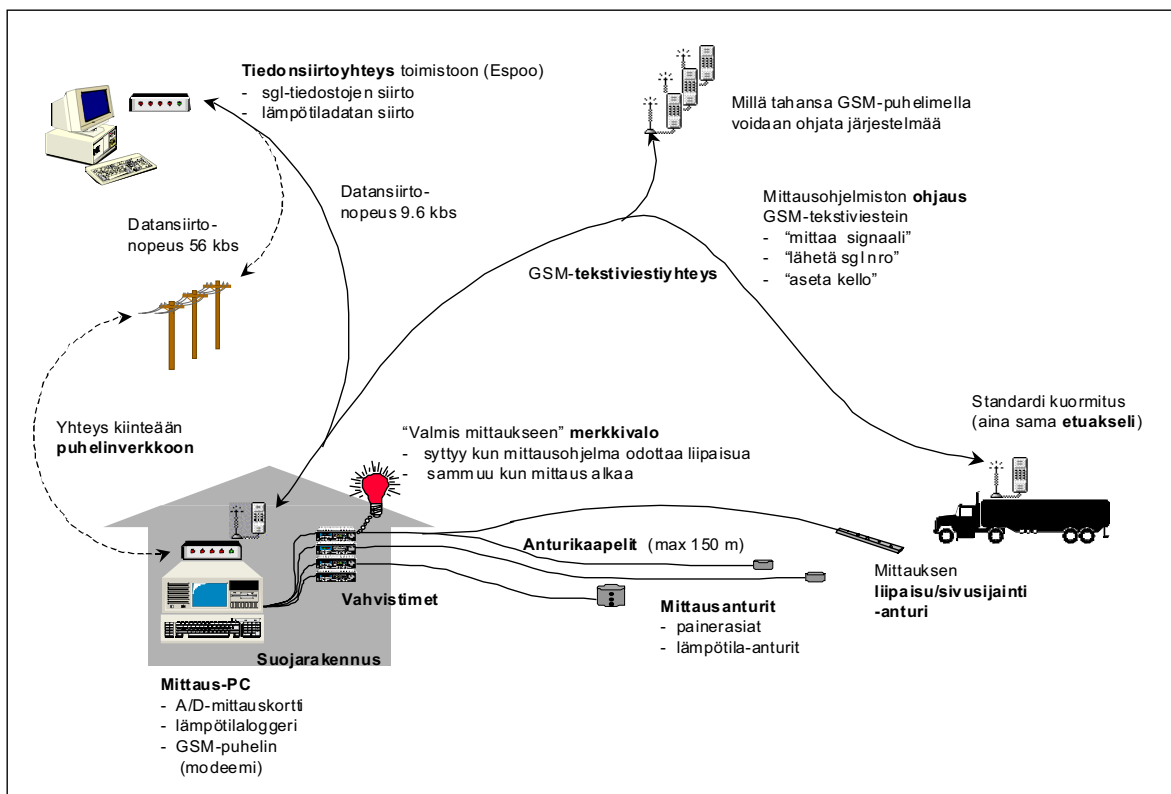
2.4 Lämpötila-anturit

Lämpötila-antureina on käytetty termoparia, yleisimmin kupari-konstantaaniparia. Muutkin anturityypit sopivat, tiedonkeruuyksikkö vain pitää olla anturityypin mukainen. Lämpötila-anturit on asennettu kolmeen eri tasoon, sidotun kerroksen yläpintaan, keskelle ja alapintaan. Routakokeissa antureita on asennettu myös sitomattomiin kerroksiin.

3 KAUKOMITTAUSSOVELLUKSEN MITTAUSLAITTEISTO

Mittauslaitteiston perusosan muodostavat (kts kuva 2)

PC-mikro
A/D-mittauskortit
GSM-puhelin
venymäliuska vahvistimet
lämpötilaloggeri
GSM-datapuhelin



Kuva 2. Jännityksen mittaaminen tierakenteessa GSM-ohjauksella.

Peruslaitteisto on sijoitettava puolilämpimään (yli +0 °C) ja sateelta suojaiseen tilaan.

Mittausmikrona käytetään tavallista PC:tä, johon kaikki oheislaitteet voidaan liittää. A/D-mittauskortina on Data Translation DT 2805-sarjan kortti. Kortin maksimi lukutajuus on 13 kHz. Differentiaalikytkenässä yhdellä kortilla voidaan mitata kahdeksaa kanavaa ja siten kahdeksaa anturia. ("single ended" -kytkennässä on mahdollisuus 16 kanavaan, jolloin kaikilla kanavilla on yhteinen maa, mutta kytkentä on häiriöaltis.)

Sivusijaintianturin tuottama digitaalisignaali luetaan toisella A/D-kortilla, joka tässä tapauksessa on DT2805. Myös mittauksen valmiusvaloa ohjataan tällä "kakkoskortilla".

Vahvistimina on Kyowan 611-sarjan kantoaaltovahvistimia. Kantoaaltovahvistimilla on huomattavia etuja tämän tapaisissa mittauksissa; esim. ympäristön aiheuttamien häiriöiden poistossa. Kukin mittausanturi tarvitsee oman vahvistimensa.

Liite 16.4

Lämpötilaloggerina käytetään AAC-tiedonkeruuloggeria, jossa on 20 kanavaa. Loggerilla on mahdollista hoitaa lämpötilojen seuranta erillään muusta tiedonkeruusta, jolloin lämpötila-anturit eivät kuluta muuta mittauskapasiteettia. Loggerin muisti puretaan PC:n tietokantaan tarvittavin väliajoin, missä lämpötilatietoja voidaan analysoida ja hyödyntää muun järjestelmän osana. Mittausten kauko-ohjaus tapahtuu SMS-tekstiviestein, johon tarvitaan tekstiviestit lähettävä/vastaanottava GSM-puhelin. Mittausdata siirretään PC:stä toimistomikroon modeemin avulla.

Peruslaitteiston lisäksi kaukomittaussovelluksessa tarvitaan

- mittausantureita (painerasiat, taipumatanko, lämpötila-anturit)
- mittauksen käyntiin liipaisevaa anturia (sivusijaintianturi)
- mittausvalmiuden merkkivaloa
- standardikuormaa (kuorma-autoa)

4 KAUKOMITTAUSOHJELMISTO

Mittaustiedon keräämiseen ja käsittelyyn käytetään erityisesti tähän tarkoitukseen tehtyä ohjelmistopakettia. Ohjelmiston avulla

- ohjataan mittausjärjestelmää
- kerätään mittausdata antureilta
- tallennetaan mittausdata PC:n muistiin
- siirretään mittausdata puhelimitse toimisto-PC:lle
- analysoidaan mittausdata
- annetaan tarvittaessa kommentteja/hälytyksiä GSM-tekstiviestein

Normaalisti mittausjärjestelmää ohjataan mittaus-PC:n näppäimistöllä. Tätä sovellusta varten ohjelmistoa on kehitetty niin, että ohjaus voidaan tehdä GSM-tekstiviestein.

Seuraavassa periaatteellinen kuvaus järjestelmän toiminnasta:

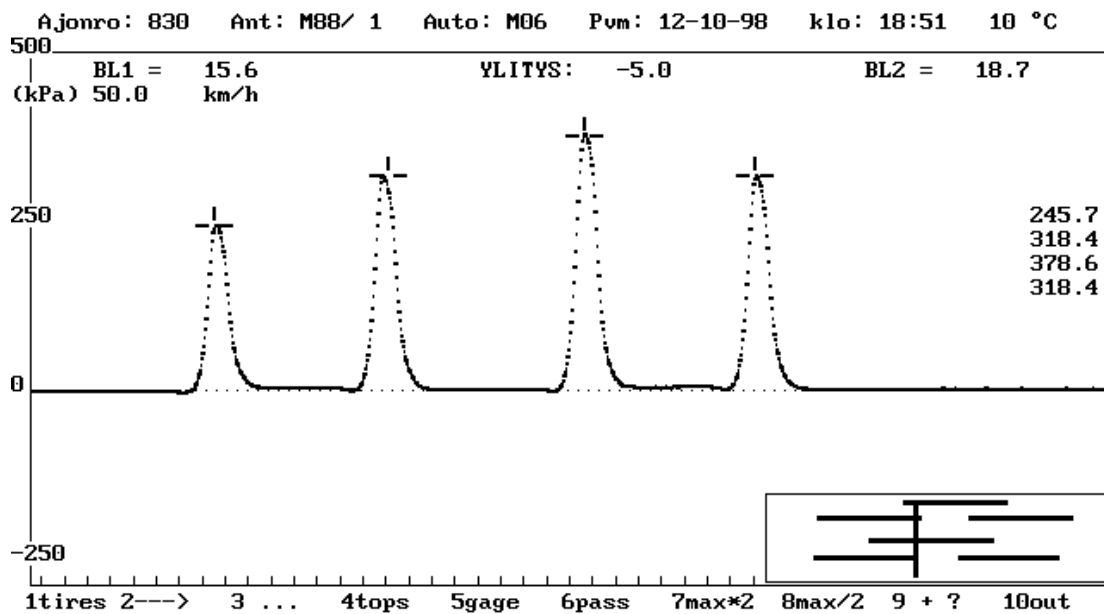
1. Kuorma-auton kuljettaja lähettää mittaus-GSM:lle tekstiviestin "MITTAA"
2. Mittaus-PC havaitsee mittauskomennon ja käynnistää mittaussovelluksen
3. Sovellus valmistelee järjestelmän mittauskuntoon, jolloin mm.
 - liipaisuanturi aktivoituu,
 - "valmis mittauksen" merkkivalo syttyy ja
 - "VALMIS MITTAUKSEEN" tekstiviesti lähetetään aktivoijalle
4. Jos kuorma-auton rengas osuu 5 min kuluessa liipaisuanturille (± 5 cm tarkkuudella) merkkivalo sammuu ja mittaus käynnistyy.
5. "MITTAUS 123 TEHTY" -tekstiviesti lähetetään kuljettajalle ja seurantahenkilöille. Jos auto ei osu liipaisuanturille, mittausta ei suoriteta ja järjestelmä palaa 5 min kuluttua odotustilaan.

Millä tahansa GSM-puhelimella voidaan ohjata järjestelmää tekstiviestein. Käskyvalikoimaan kuuluu mm seuraavia komentoja:

- MITTAA (aktivoi järjestelmän 5 minuutiksi)
- SEND TEMP (lähettää sen hetkiset lämmöt tekstiviestinä kysyjälle)
- TIME (synkronoi PC:n kellon SMSC-aikaan).

5 ESIMERKKEJÄ MITTAUSTULOKSISTA

Kuvassa 3 on esitetty mittaussignaali painerasiamittauksesta. Siinä neliakselinen ajoneuvo on ylittänyt anturin 5 cm anturilinjasta oikealle, mikä näkyy kuvan oikeasta alakulmasta, missä on esitetty ajoneuvon oikeanpuoleiset pyörät anturilinjaan nähden. Kuvasta havaitaan, että etuakselin jälkeisellä akselilla on paripyörät, kolmannella akselilla yksittäispyörät ja viimeisellä akselilla paripyörät. Jokaisesta ylityksestä mitataan sivusijainti anturilinjaan nähden, mikä tähän asti on tapahtunut manuaalisesti.

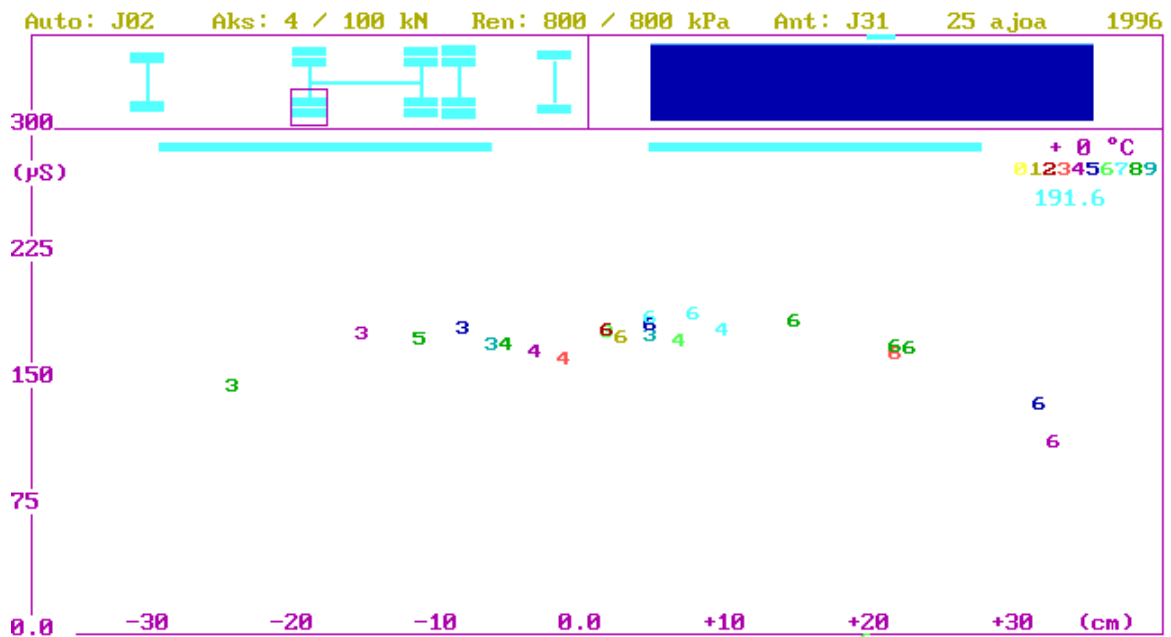


Kuva 3. Mittaussignaali neliakselisesta ajoneuvosta.

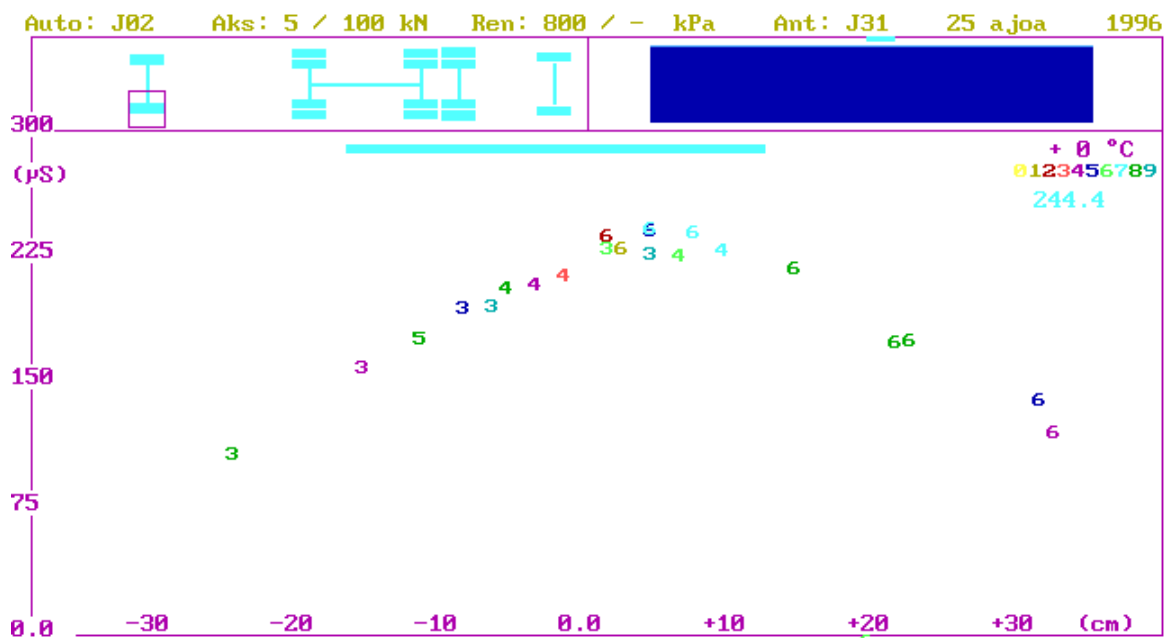
Jos mittauksia tehdään eri etäisyyksillä anturista, kultakin akselilta voidaan piirtää kuvien 4 ja 5 mukainen kuva muodonmuutoksen jakautumisesta pyörän suhteen. Tämä voidaan tehdä jokaisen ylityksen jälkeen välittömästi, jolloin kuormitusajoja voidaan ohjata sinne, missä mittauksia puuttuu.

Kuvien perusteella saadaan määritetyksi muodonmuutoksen jakautuminen poikkisuunnassa. Tämä kuvaa myös tierakenteen jäykkyyttä ja kykyä jakaa kuormitusta laajemmalle alueelle. Jos jakautumakuvio on kovin huipukas, rakenteen jäykkyys ei ole suuri.

Liite 16.6



Kuva 4. Paripyörän aiheuttamat muodonmuutokset sidotun kantavan kerroksen alapinnassa.



Kuva 5. Yksittäispyörän aiheuttamat muodonmuutokset sidotun kantavan kerroksen alapinnassa.