



TIEN POHJA- JA
PÄÄLLYSRAKENTEET
TUTKIMUSOHJELMA
1994 - 2001

Kohderaportti

TPPT 31

Espoo, 4.12.2001

MT 661 ISOJOKI



Laura Apilo
Jari Pihlajamäki

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



TIIVISTELMÄ

Osana TPPT:n koerakentamishjelmaa toteutettiin Vaasan tiepiirissä Isojoella kesällä 1997 vanhan tierakenteen perusparantaminen. Koekohde sijaitsi Mt 661:lla tieosilla 03 ja 05 välillä Peuralankylä - Isojoki. Rakenteen perusparannus oli tarpeen lähinnä kantavuuspuutteista ja routimisesta aiheutuneen vaurioitumisen vuoksi. Rakenteen parantamisen tarkoituksena oli kuormituskestävyyden lisääminen ja routimisesta aiheutuvien päällystevaurioiden torjuminen.

Perusparannuksessa käytettiin bitumistabilointia. Stabiloinnin perusratkaisuna käytettiin vaahtobitumistabilointia, jossa sideaineena oli B160/220. Lisäksi kohteeseen rakennettiin kuusi koeosuutta, joiden osalta käytetyt materiaalit, työtekniikka ja tutkimus- sekä seurantatulokset on koottu tähän raporttiin. Bitumistabilointi tehtiin paikallasekoituksena. Muuttujina olivat sideaineen kovuus, työtekniikka (vaahto/emulsio) ja vanhan öljysorapäällysten hyödyntämistapa stabiloidussa rakenteessa. Lisäksi yhdellä koeosuudella käytettiin teräsverkkoa routavaurioiden torjumiseksi.

Koerakenteena olevilla osuuksilla haluttiin selvittää materiaalitekhnisten seikkojen lisäksi etenkin

- tien pitkäaikaiskestävyyttä
- stabiloinnin vaikutusta kuormituskestävyyteen
- tierakenteen käyttäytymistä liikennekuormituksen alaisena

Ennen koeosuuksien rakentamista materiaalien ominaisuudet selvitettiin ja koeosuudet suunniteltiin stabilointiohjeen mukaan. Laadunvalvontaa ja seurantaan varten laadittiin näytteenotto ja tutkimussuunnitelma. Työn aikana stabiloinnin laatua seurattiin koeosuuksilta otettujen näytteiden avulla, joista tutkittiin kenttälaboratoriossa materiaalin homogeenisuus. Työn aikana seurattiin myös stabiloidun kerroksen tiivistymistä ja otettiin näytteet jatkotutkimuksia varten. Myöhemmin tehdyillä laboratoriokokeilla tutkittiin stabiloitujen materiaalien koossapysyvyyttä.

Koeosuuksien seuraamiseksi ja stabiloidun rakenteen vaurioitumismekanismin selvittämiseksi koeosuudet instrumentoitiin jakavan kerroksen pintaan asennetuilla paineantureilla, joilla mitattiin raskaan liikenteen aiheuttamaa vastetta vuosittain. Seurantaohjelmaan kuuluivat myös vuosittain tehtävät kantavuusmittaukset, palvelutasomittaukset ja silmämääräinen vauriokartoitus.

Koekohteesta saatiin aluksi tietoa eri bitumistabilointien homogeenisuudesta ja työn onnistumisesta eri tekniikoilla. Erilaisten rakenneratkaisuiden pitkäaikaiskestävyyttä ja niiden kuormituskestävyyttä lisäävää vaikutusta arvioitiin vaste- ja muiden seurantamittausten avulla.

ABSTRACT

Pavement improvement by stabilization was carried out in Vaasa road district summer 1997 as part of TPPT-research project test section program. The test road is located on main road 661 between Isojoki and Peuralankylä. Pavement improvement was necessary mainly because of lack in bearing capacity and damages caused by frost. The aim by stabilisation was to improve bearing capacity and reject frost heave damages. Beside material related questions the aim of test sections was to define influence of bitumen stabilisation on

- pavement bearing capacity
- long term resistance.

In pavement improvement in-place mixed stabilisation with bitumen was used. The reference structure was done with foamed bitumen B160/220. Beside the reference structure there were six test sections. The information concerning materials, work techniques as well as research and monitoring on test section is presented in this report. Binder stiffness, work technique (foam/emulsion) and utilisation of old oil gravel pavement were as variables. Additionally steel mesh was used in on of the test sections in order to reject frost heave damages.

Material properties were determined and test sections were designed based on stabilisation instructions by FinnRA before building test road. Quality control and monitoring plans were made including instructions for sampling.

The quality of stabilisation was investigated during work by samples taken from various test sections. The homogeneous of samples was investigated in field laboratory. The compaction of stabilised layers was followed up as well. Samples for further investigations were taken. The purpose for research done later in the laboratory was to determine the stability of different stabilised mixtures.

Instrumentation of test sections was necessary for monitoring and investigating the failure mechanism of stabilised layers. In pavement monitoring program measurement of responses due to moving wheel load, bearing capacity, pavement service measurements and visual investigation of deterioration carried out once a year were included.

The test road has so far given information mainly concerning quality and homogeneous of stabilisation by different work techniques. The upcoming years will show the long term performance and the bearing capacity of different pavement structures.

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 menetelmäkuvaauksissa esitetään ne menettelytavat ja keinot, joita käyttäen tierakenne voidaan kohdekohtaisesti suunnitella ja mitoitaa. 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 ”menetelmäkuvaaukset”. Esitettävät menetelmät ja menettelytavat on todettu käyttökelpoisiksi käytännön havaintojen ja kokeiden perusteella.

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

Tämän koetien kohderaportin ovat laatineet TkT Laura Apilo ja dipl.ins. Jari Pihlajamäki VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta.

Marraskuussa 2001

Markku Tammirinne

SISÄLTÖ

1. JOHDANTO	9
2. KOERAKENNUSSUUNNITELMA	10
2.1 Tavoitteet	10
2.2 Koekohde	10
2.3 Tutkimussuunnitelma	14
3. ENNAKKOTUTKIMUKSET	16
3.1 Materiaalitutkimukset	16
3.2 Kantavuusmittaukset ja rakenteen mitoitus	16
4. KOERAKENTEIDEN TOTEUTTAMINEN	17
4.1 Koerakentaminen	17
4.2 Koeosuuksien instrumentointi	18
4.3 Laadunvarmistustutkimukset työn aikana	19
4.4 Laboratoriotutkimukset koerakentamisen jälkeen	21
5. SEURANTAMITTAUKSET	23
5.1 Kantavuusmittaukset	23
5.2 Palvelutasomittaukset	30
5.3 Tierakenteeseen asennettujen antureiden mittaukset	37
5.4 Vauriokartoitus	45
6. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	47
7. LIITTEET	49

1. JOHDANTO

Stabilointikohteita on rakennettu viimeisen vuosikymmenen aikana useita eri puolille maata, mutta niillä toteutettujen koeosuuksien kattavuus ja työn-aikainen sekä myöhempi seuranta ovat olleet puutteellisia. Selvityksissä on keskitytty lähinnä sideaineen laadun (bitumi / sementti tai bitumin kovuus) ja määrän sekä työtekniikan (emulsio / vaahto, paikallasekoitus / asema-sekoitus) vertailuihin. Koerakentamista on tehty sekä vilkkaasti liikennöi-dyissä kohteissa että alemmalla tieverkolla.

Koska koeobjektit on toteutettu erillään laajemmista koeohjelmista, ei niissä ole ollut mahdollisuutta koerakenteen instrumentointiin eikä pitkäjänteiseen seurantaan. Monipuolisistakin koerakenteista saadut tiedot ovat rajoittuneet tästä syystä lähinnä työnaikaisiin kokemuksiin. Vanhojen stabi-lointikohteiden nykytilaa koskevia selvityksiä samoin kuin stabilointiin liittyviä materiaali- ja työtekniisiä kysymyksiä ratkovia tutkimuksia on ollut 1990-luvulla käynnissä Tielaitoksen toimeksiannosta melko runsaasti.

TPPT:ssä bitumistabilointia on tutkittu materiaaliteknisestä ja etenkin mitoi-tuksellisesta näkökulmasta. Laboratorioselvitysten keskeisenä tarkoituk-sena on ollut kehittää stabiloidun materiaalin jäykkyysmoduulin ja pitkä-aikaiskäyttämisen määritysmenetelmiä ja siten parantaa bitumistabi-loinnin mitoitusvalmiuksia. Bitumistabiloitu materiaali on käyttäytymiseltään sidotun asfaltin ja sitomattoman murskeen välimaastossa. Tästä syystä myös stabiloidun rakenteen pitkäaikaiskestävyyttä ja vaurioitumisen etene-mistä on ollut vaikea todentaa laboratoriokokein.

Yhtenä TPPT:n koerakentamiskohteena oli mt 661:llä tieosilla 03 ja 05 Iso-joella toteutettu rakenteen perusparantaminen. Kohteessa etsittiin paran-nusta sekä kuormituskestävyyteen että osittain myös routimisesta aiheutu-vaan päällysteen vaurioitumiseen.

Isojoella toteutetun bitumistabilointikokeilun keskeisiä tavoitteita oli selvittää

- sideaineen laadun (kovuus, emulgoitu / vaahdotettu) vaikutusta stabilo-i-dun kerroksen homogeenisuuteen paikallasekoituksessa
- bitumistabiloidun materiaalin pitkäaikaiskäyttämistä
- stabiloidun tierakenteen käyttäytymistä liikennekuormituksen alaisena
- stabiloinnin vaikutusta rakenteen kuormituskestävyyteen
- routavaurioiden vähentämistä teräsverkon avulla

Keskeiseksi ongelmaksi stabilointitoissa on koettu sideaineen epähomo-geeninen sekoittuminen etenkin kiviaineksen hienoainespitoisuuden ja/tai ominaispinta-alan ollessa suuri. Lisäksi usein tiivistäminen on ollut puuttee-lista, mikä aiheuttaa kerroksen jälkitiivistymistä liikenteen kuormituksen alai-sena. Koerakenteiden työnaikaista valvontaa ja myöhemmin tehtävää seu-rantaa suunniteltaessa näihin seikkoihin kiinnitettiin tässä koeobjektissa erityisesti huomiota.

2. KOERAKENNUSSUUNNITELMA

2.1 Tavoitteet

TPPT:n kuormituskestävyyden parantamiseen tähtäävässä koerakentamisessa yhtenä koekohteena oli Vaasan tiepiirissä sijaitsevan Mt 661 tieosuudet 03 ja 05. Rakenteen parantamisen tarkoituksena oli parantaa tien kantavuutta ja rajoittaa routimisesta aiheutuvaa päällysteen halkeilua. Perusparannus toteutettiin bitumistabiloinnilla.

Tietä oli perusparannettu edellisen kerran 1980-luvun alussa. Tässä tutkimuksessa tehdyllä koerakentamisella selvitettiin seuraavien seikkojen vaikutusta stabiloidun rakenteen ominaisuuksiin:

1. Työtekniikan (vaahto / emulsio) vaikutukset sekoittuvuuteen, homogeenisuuteen ja tiivistyvyyteen
 - pitääkö sideaineella sitoa mastiksi vai peittää karkeat rakeet?
2. Vanhan päällysteen sideaineen hyödynnettävyys
 - vanhan sideaineen laadun ja määrän merkitys
 - onko vanhan päällysteen sekoittaminen stabiloitavaan kerrokseen ylipäätään järkevää?
3. Kiviaineksen ominaisuuksien ja rakeisuuden vaikutus
 - vedenkestävyys
 - hienoaineksen ominaisuuksien vaikutus
4. Laboratoriotutkimusten ja rakenteen toiminnan välinen yhteys, työnäikainen laadunvalvonta sekä suunnittelun ja mitoituksen oikeellisuuden verifiointi
 - mitkä ovat tarpeelliset suunnittelu- ja laadunvarmistustoimenpiteet?

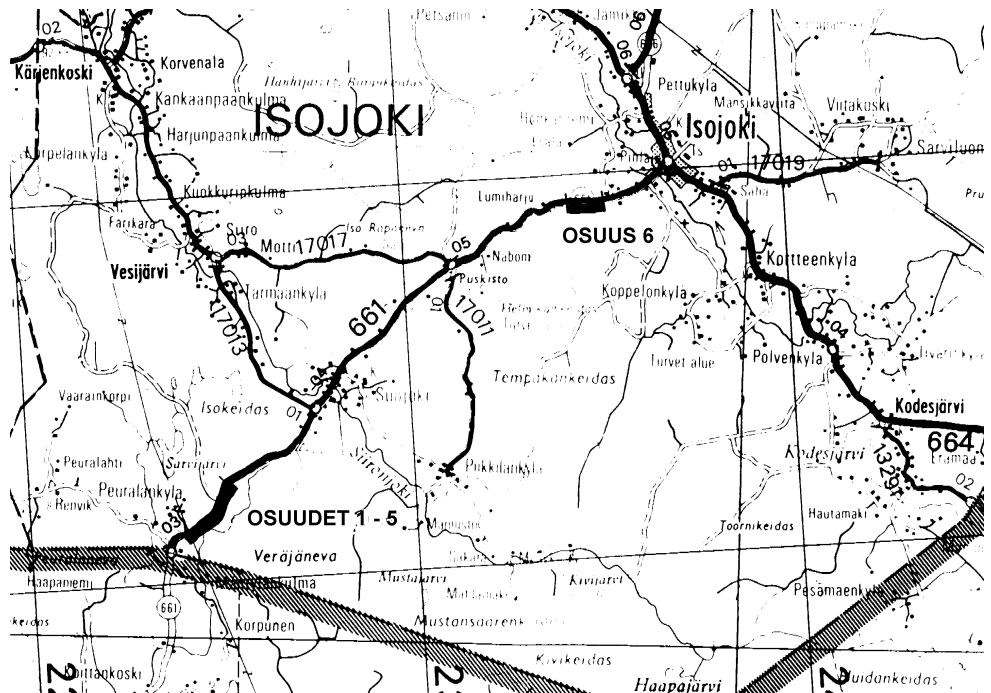
2.2 Koekohde

Koekohde sijaitsi Isojoella tieosuudella, joka sijoittuu Isojoen ja Turun tiepiirin rajan väliin. Kohteen sijainti ja koeosuuksien tarkempi sijoittuminen koetiele ilmenevät kuvasta 1. Tien keskimääräinen vuorokausiliikenne vuonna 1997 oli 366 tieosalla 03 ja 452 tieosalla 05. Raskaan liikenteen osuus oli 13 %. Tiellä oli vanha öljysorapäällyste, jonka leveys oli 6,5 m. Stabiloidun kerroksen leveys oli 6,8 m.

Perusparannus toteutettiin seuraavilla tieosuuksilla Mt 661:lla:

Tieosa 03	PLV 0 - 5550
Tieosa 04	PLV 0 - 5220
Tieosa 05	PLV 0 - 6010

Varsinainen stabilointikokeilu tehtiin tieosalle 03 paalulta +960 alkaen. Kunkin koeosuuden pituus oli 200 m, joten koetie rakennettiin paaluvälille 960...2460. Teräsverkkorakenne tehtiin tieosalle 05, joka oli alavassa maastossa peltoaukealla routivalla pohjamaalla. Kaikki koeosuudet toteutettiin paikallasekoituksena. Perussideaineena käytettiin bitumia B160/220.



Kuva 1. Koeosuuksien sijainti Isojoella.

Figure 1. Location of test sections.

Koeosuudet

Seuraavassa on kuvattu stabilointikokeilun koeosuudet ja osuiksittain koekielussa tehdyt toimenpiteet. Referenssirakennetta 1 käytettiin myös niillä perusparannettavilla osuuksilla, jotka eivät varsinaisesti kuuluneet koeohjelmaan.

- Referenssi 1, osuus 3

Vaahto-bitumistabilointi B160/200, paksuus 130 mm. Vanha öljysorapäälyste sekoitettiin stabilointikerrokseen. Tien sivukaltevuutta ja tasaisuutta parannettiin ennen bitumistabilointia murskeen lisäyksellä ja tien muotoilulla tiehöylällä.

- Referenssi 2, osuus 5

Murskerakenne (250 mm), kantavuus parannettiin murskelisäyksellä ilman stabilointia.

- Koeosuus 1

Vaahto-bitumistabilointi B70/100, paksuus 130 mm. Vanha öljysorapäälyste sekoitettiin stabilointikerrokseen. Tien sivukaltevuutta ja tasaisuutta parannettiin ennen bitumistabilointia murskeen lisäyksellä ja tien muotoilulla tiehöylällä.

- Koeosuus 2

Bitumiemulsiostabilointi B160/200, paksuus 130 mm. Vanha öljysorapäälyste sekoitettiin stabilointikerrokseen. Tien sivukaltevuutta ja tasaisuutta parannettiin ennen bitumistabilointia murskeen lisäyksellä ja tien muotoilulla tiehöylällä.

- Koeosuus 4

Vaahto-bitumistabilointi B160/200, paksuus 150 mm. Öljysorapäälystettä ja vanhaa tien kantavaa kerrosta ei sekoitettu stabilointikerrokseen, vaan stabiloitavana materiaalina oli pelkästään uusi lisättävä murskesora.

- Koeosuus 6

Teräsverkkoa käytettiin routahalkeamien torjumiseen. Teräsverkko asennettiin bitumistabilointikerroksen keskelle. Ennen sideaineen sekoitusta uutta mursketta lisättiin noin 100 mm ja tien pinta muotoiltiin ja esitivistettiin. Stabilointina käytettiin vaahto-bitumistabilointia B160/200, paksuus 130 mm. Jyrsinnän jälkeen puolet löyhästä kerroksesta siirrettiin karheelle ja jäänyt stabilointimateriaali tasoitettiin ja tiivistettiin kevyesti. Tämän päälle asetettiin teräsverkko ja siirrettiin loppu bitumistabilointimassa karheelta verkon päälle. Kerros tasattiin ja tiivistettiin huolellisesti.

Koeosuuksien sijainnit Mt 661:lla ja eri osuuksilla käytetyt materiaalit ja rakenneratkaisut on koottu taulukkoon 1. Rakenneratkaisuja havainnollistaa kuvassa 2 esitetyt poikkileikkaukset eri koeosuuksista.

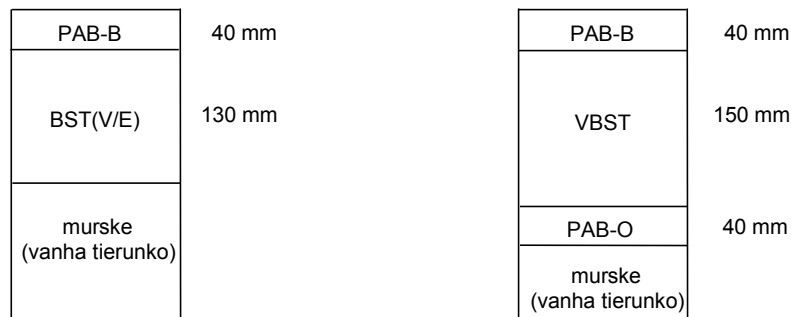
Taulukko 1. Mt 661 toteutetut stabilointikokeilut.

Table 1. Stabilized test sections on main road 661.

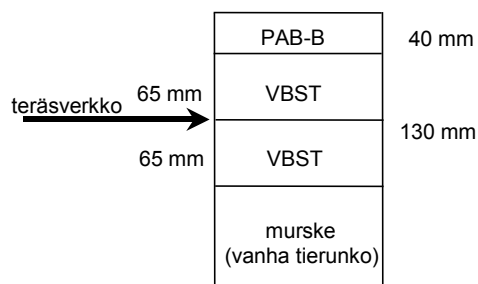
Koeosuus Nro	Tieosa	PLV	Sideaine	Vaaho / emulsio	H (mm)
1	03	960 - 1160	B70/100	V	130
2	03	1160 - 1360	B160/200	E	130
3	03	1360 - 1560	B160/200	V	130
4	03	2000 - 2200	B160/200	V	150
5	03	2260 - 2460	sitomaton		250
6	05	15860 - 16060	B160/200	V+teräsv.	130

Taulukossa 1 on esitetty koeosuudet työnaikaisen paalutuksen mukaan (0-paalu läänin raja) ja vastaa tieosalla 03 tierekisterin paalutusta. Koeosuus 6 sijaitsi tierekisterin mukaan tieosalla 05 paaluvälillä 5090 - 5290.

- Ref. 1 PLV 1360 - 1560
- Koeosuus 1 PLV 960 - 1160
- Koeosuus 2 PLV 1160 - 1360
- Koeosuus 4 PLV 2000 - 2200



- Koeosuus 6 PLV15860 - 16060



Kuva 2. Koe- ja referenssirakenteiden rakenneratkaisut.

Figure 2. Pavement structures of test sections.

Materiaalit

Sideaineina stabiloinneissa käytettiin vaahdotettua bitumia B160/220 (referenssi 1 ja koeosuudet 4 ja 6), bitumiemulsiota K-0, jossa bitumina oli B160/220 (koeosuus 2) ja vaahdotettua bitumia B70/100 (koeosuus 1).

Stabiloidun kerroksen runkoaineeksena oli vanhan tien rakenteen ja kuluskerroksen sekä soramurskeen 0 - 40 mm seos (referenssi 1 ja koeosuudet 2,3 ja 6) tai pelkkä murske stabiloitiin (koeosuus 4).

Teräsverkko oli valmistettu B500 K harjateräksistä. Pääteräksien halkaisija oli 8 mm, 150 mm jaolla ja jakoteräksien halkaisija 6 mm 200 mm jaolla. Teräsverkkoelementin pituus oli 6,5 m ja leveys 2,35 m (tehollinen leveys 2,25 m). Pääteräokset olivat verkon pituussuunnassa. Pääteräokset asennettiin tien poikkisuuntaan ja jakoteräokset tien pituussuuntaan. Verkkojen asennuksessa jakoteräokset jäivät ohjeen mukaisesti päällimmäisiksi.

2.3 Tutkimussuunnitelma

Seuraavassa on esitetty suunnitelma koekohteen suunnittelu- ja laadunvalvonta- sekä seurantatutkimuksiksi, jonka perusteella työt toteutettiin. Ennakkotutkimukset ja työnaikaisen valvonnan teki Vaasan tiepiiri niiltä osin kuin se laiteresurssien puolesta oli mahdollista. Tiepiiri huolehti myös työnaikaisesta laadunvalvonnasta ja otti näytteet laboratoriokokeita varten. Tutkimukset, joiden tekemiseen tarvittiin erityislaitteita, tehtiin VTT:llä. Myös koerakenteen instrumentoinnista huolehti VTT.

Materiaalitutkimukset

a) vanha sitomaton materiaali ja uusi soramurske

Hienoaineksesta (<0,063) tutkittiin rakeisuus, humuspitoisuus, ominaispinta-ala ja vedenkestävyyden kannalta ongelmallisten mineraalien, lähinnä kiilteen määrä.

Lisättävän murskeen rakeisuus tutkittiin murskauksen jälkeen varastokasanäytteistä ja tielle tiivistetystä kerroksesta otetuista näytteistä jyräyksen aiheuttaman hienonemisen selvittämiseksi.

b) öljysora

Öljysorasta tutkittiin sideainepitoisuus, kiviaineksen rakeisuus ja sideaineen kovuus (viskositeetti).

Koeosuuksien sideainepitoisuudet laskettiin alustavasti bitumistabilointiohjeen mukaan stabiloitavan runkoaineksen rakeisuuden perusteella. Öljysoran sideaineesta otettiin huomioon 50 %.

Kantavuustutkimukset ja rakenteen mitoitus

Kantavuudet ennen parannustyötä mitattiin pudotuspainolaitteella 15-20 °C lämpötilassa koeosuuksilta 20 m välein. Stabiloitavien kerrosten paksuudet mitoitettiin ennakkoon APAS:lla.

Tutkimukset koerakentamisen aikana

Rakentamisen aikana seurattiin kenttälaboratoriossa massan homogeenisuutta, tiivistymistä ja vesipitoisuuksia.

Näytesarjoja otettiin ja tutkittiin kahdesta poikkileikkauksesta jokaiselta koeosuudelta. Näytteitä otettiin koko kaistan leveydeltä siten, että pyrittiin tutkimaan stabiloidun materiaalin homogeenisuutta sekä tien pituus- että poikkisuunnassa. Stabiloidusta kerroksesta otettiin näytesarjat (5 näytettä / poikkileikkaus) molempien ajourien kohdalta, kaistan keskeltä, keskisaumasta ja pientareen reunasta. Näytteistä tutkittiin vesi- ja sideainepitoisuudet.

Tiivistymistä ja etenkin tiivistymisen tasaisuutta tarkkailtiin Troxler-mittauksin. Tiheydet mitattiin kaistan keskeltä ja oikean ajouran kohdalta.

Kokeilun aikana työ dokumentoitiin tarkasti (valokuvat, muistiinpanot mm. olosuhteista) ja osuudet merkittiin tarkasti maastoon.

Rakentamisen jälkeen tehdyt laadunvalvontakokeet

Jokaiselta koeosuudelta otettiin massanäytteet, joista tutkittiin tiivistyvyyttä, koossapysyvyyttä ja vedenkestävyyttä.

Tiivistyvyys selvitettiin laboratoriossa tehdyin tiivistyskokein (ICT), joilla määritettiin tilavuussuhteet. Näytteet tehtiin halkaisijaltaan 150 mm muottiin ja tiivistysmääränä käytettiin 80 työkierrosta. Näytevalmistus tehtiin kuten TPPT:n bitumistabilointiprojektissa.

Stabiloidun materiaalin koossapysyvyys ja vedenkestävyys selvitettiin käytetyllä suhteituksella halkaisuvetolujuuskokein, jotka tehtiin kuivana ja märkänä säilytetyille näytteille. Tutkimukset tehtiin erikseen eri koeosuuksilta otetuille massanäytteille. Koestusikä oli 7 vrk ja koestuslämpötila +10 °C.

Suhteitus- ja koossapysyvyysselvitysten tekeminen ennakkoon edellyttäisi näytteiden valmistamista laboratoriossa. Koska näitä tutkimuksia ei ollut mahdollista tehdä käytettävissä olevilla ajalla ja kustannuksilla, määritettiin sideainepitoisuus laskennallisesti rakeisuuksien perusteella. Tiivistyvyys- ja lujuustiedot saatiin tällöin vasta koerakentamisen yhteydessä.

Myöhempi seuranta

Rakentamisen jälkeen tutkittiin kantavuuksien muuttumista vuosittain keväisin ja kesäisin tehdyin pudotuspainomittauksin 20 m välein. Myös Troxler-mittaukset tehtiin samalla tavalla kuin stabilointityön aikaiset tiiveysmittaukset liikenteen aiheuttaman jälkitiivistymisen selvittämiseksi. Lisäksi mitattiin raskaan kuorma-auton aiheuttamat liikennesäädökset sidotun kantavan kerroksen alapintaan ja tasaisuudet PTM-autolla. Koeosuuksia seurattiin lisäksi vauriokartoituksin. Seurantamittaukset ja vauriokartoitus tehtiin vuosittain.

3. ENNAKKOTUTKIMUKSET

3.1 Materiaalitutkimukset

Lisättävän sideaineen määrän ja stabiloitavan kerroksen materiaalin rakeisuuden selvittämiseksi otettiin sekä vanhasta öljysorapäälysteestä että vanhan tierungon sitomattomasta materiaalista ja lisättävästä murskeesta näytteitä. Näytteet otettiin ja tutkittiin kohdan 2.3 Tutkimussuunnitelma mukaisesti.

Öljysorasta kolmesta kohdasta otettujen näytteiden tutkimustulosten keskiarvona vanhan päälysteen sideainepitoisuudeksi todettiin 3,2 % ja sideaineen viskositeetiksi 6200 mm²/s. Öljysoran rakeisuus ilmenee liitteestä 1. Päälysteen paksuus oli keskimäärin 40 mm.

Tavoitteeksi asetettu sideainepitoisuus 3,5 % saavutettiin, kun sideainetta lisättiin 3,0 % (9,0 kg/m² vaahtobitumia ja 14,3 kg/m² bitumiemulsiota). Koeosuudella 4, jolla vanhaa päälystettä ei sekoitettu stabiloitavaan kerrokseen, tavoitesideainepitoisuuden saavuttamiseen tarvittavan sideaineen määrä oli 12,1 kg/m².

Vanhan sideaineen teholliseksi määräksi tässä laskelmassa oletettiin 50 % todellisesta määrästä. Kun lisättävänä sideaineena käytettiin B160/220, oli stabiloidun materiaalin sideaineen viskositeetti 46400 mm²/s, joten se ei merkittävästi poikennut B160/220:n kovuudesta.

Sitomattomista stabiloitavista materiaaleista tutkittiin sekä rakeisuudet että hienoainesominaisuudet. Näytteet otettiin sekä vanhasta tierungosta öljysoran alta että päälysteen päälle levitettävästä 0-40 mm soramurskeesta. Kiviainesten rakeisuudet ilmenevät liitteistä 2 ja 3. Hienoaineskokeiden tulokset on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Stabiloitavien murskeiden hienoainesominaisuudet.

Table 2. Properties of aggregate fines used for stabilisation.

Ominaisuus	Lisättävä murske	vanha tierunko
Raekoko < 0,002 mm, massa-%	10	9
Ominaispinta-ala, m ² /kg	5307	4419
Kiintotiheys, g/cm ³	2,67	2,65
Humus (hehkuttamalla 800 °C), %	2,3	2,3

3.2 Kantavuusmittaukset ja rakenteen mitoitus

Toimenpiteet paaluväleittäin valittiin maatulkuotauksilla määritettyjen päällysrakenteen kerrospaksuuksien ja vaurioinventointitulosten perusteella. Vauriojakauma tieosuudella 3 ilmenee liitteestä 4. Lisäksi tieltä oli käytettävissä kantavuusmittaustuloksia.

4. KOERAKENTEIDEN TOTEUTTAMINEN

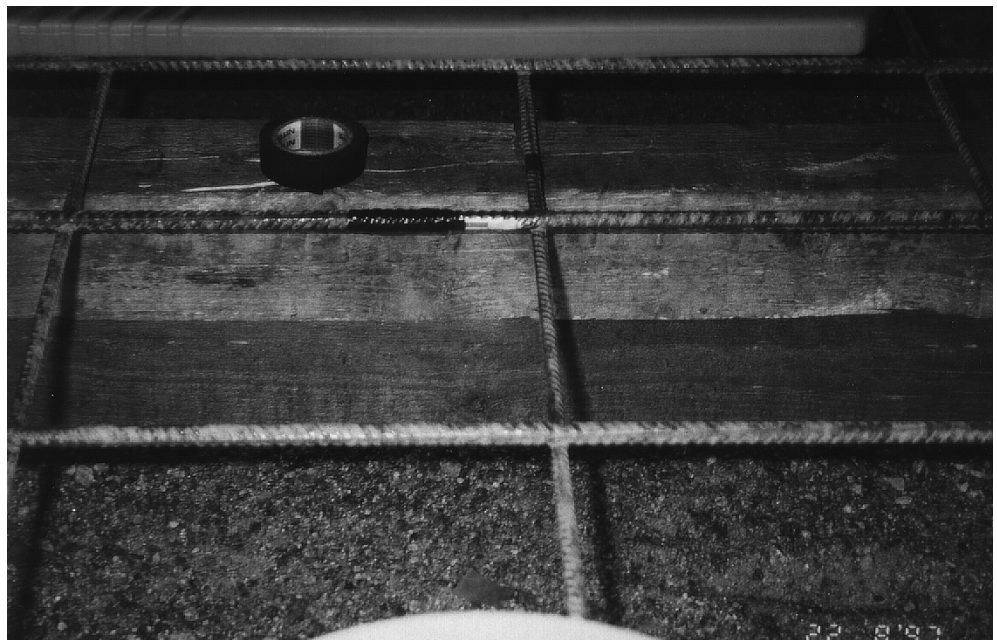
4.1 Koerakentaminen

Koko peruskorjauskohteen stabilointityön koeosuudet mukaan lukien teki Lemminkäinen Oy. Työssä käytettiin kahta stabilointijärsintä RR 250, tiivistyksessä täryjyriä Hamm 4011 (13,5 t) ja Hamm DW 8 (8,5 t) ja pinnan muotoilussa tiehöyliä Lokomo AH 172 ja NW 17 S. Lisäksi kalustoon kuuluivat 14 m³ vesiauto sekä 20 m³ ja 15 m³ bitumiautot.

Työ aloitettiin 31.7.1997 esijärsinnällä tieosuuden 03 alkupaalulta. Koeosuutta 4 lukuun ottamatta koko perusparannettava kohde järsittiin 20 cm syvyydeltä. Koeosuudella 4 esijärsintä ei ollut tarpeen, sillä vanhaa päällystettä ei sekoitettu stabiloitavaan kerrokseen vaan stabiloinnin runkoainesena käytettiin ainoastaan lisättävää mursketta. Esijärsittyä pintaa ei tiivistetty järsimällä erikseen ennen stabilointia. Pinnan muotoilu, tasaus ja tiivistys tehtiin tiehöylällä.

Perusparannuskohteen stabilointityö tehtiin em. 0-paalulta lähtien 8.8.1997 alkaen, ja työ valmistui 22.8.1997. Varsinaiset koeosuudet stabiloitiin 13.-14.8.1997. Työ jatkui vielä tämän jälkeen teräsverkkojen asennuksella 25.-28.8.1997.

Työ sujui ongelmitta kaikilla koeosuuksilla. Emulsiostabiloidulla koeosuudella havaittiin pian stabiloimisen jälkeen enemmän irtokiviä kuin muilla koeosuuksilla.



Kuva 3. Teräsverkko asennettuna stabiloidun kerrokseen puoliväliin.

Figure 3. Steel fabric placed in stabilized layer.

Kuvassa 3 on esitetty koeosuudella 6 käytetyn teräsverkon asennus kahden bitumistabiloidun kerroksen väliin.

Olosuhteet olivat työn aikana hyvät. Koko stabilointityön ajan vallitsi kesäinen n. 20 °C lämpötila. Sateita ei yhtä kuurosadetta (14.8.) lukuun ottamatta ollut. Stabiloidun pinnan paikkaustarvetta ennen päällystämistä ei ilmennyt.

Päällysteenä kaikilla osuuksilla oli PAB-V. Päällyste levitettiin noin kahden viikon kuluttua stabiloinnista 27.8.-3.9.1997.

4.2 Koeosuuksien instrumentointi

Viidelle koeosuudelle asennettiin kaksi kappaletta paineantureita (kuva 4) jakavan kerroksen yläpintaan, 50 mm sidotun kantavan kerroksen (bitumistabilointi) alapuolelle. Anturit asennettiin oikealle kaistalle oikeaan ajo-uraan. Antureilla mitattiin jakavaan kerrokseen kohdistunutta puristusjännitystä, kun kuorma-autolla ajettiin anturin yli. Seurantamittauksia tekemällä saatiin tietoa kantavan kerroksen käyttäytymisestä ja tien rakenteellisesta toimimisesta ajan suhteen.

Paineanturit asennettiin 8.8.1997 koeosuudelle 1 paaluille 1065 ja 1080, koeosuudelle 2 paaluille 1265 ja 1280, koeosuudelle 3 paaluille 1465 ja 1480, koeosuudelle 5 paaluille 2365 ja 2380 sekä koeosuudelle 6 paaluille 15965 ja 15980.



Kuva 4. Jakavaan kerrokseen asennettu paineanturi.

Figure 4. Pressure cell installed in subbase.

4.3 Laadunvarmistustutkimukset työn aikana

Työn aikana otettiin näytteitä kaikilta koeosuuksilta massan koostumuksen ja tasalaatuisuuden selvittämiseksi. Kultakin koeosuudelta tutkittiin viiden näytteen sarja yhdestä poikkileikkauksesta, jonka työnaikainen paalulukema ilmenee taulukosta 3. Näytteitä otettiin kustakin poikkileikkauksesta viisi: molempien ajourien kohdalta, pientareen reunasta ja keskeltä kaistaa sekä stabiloinnin vetojen työsauman kohdalta.

Taulukko 3. Toteutuneet sideainepitoisuudet (%) eri koeosuuksilla poikkileikkauksen eri kohdissa.

Table 3. Binder contents (%) determined for each test section on different cross-section spots.

Nro	PL	Pientareen reuna	Oikea ajoura	Keskellä kaistaa	Työsauma	Vasen ajoura	KA	KH
1	1075	2,90	3,37	3,59	3,37	3,64	3,37	0,12
2	1275	3,08	3,85	4,39	2,97	3,23	3,50	0,42
3	1475	3,43	2,97	3,96	3,78	3,90	3,61	0,28
4	2100	2,39	4,09	3,46	3,70	3,08	3,34	0,29
5	15975	3,02	3,43	3,06	4,19	3,95	3,53	0,35

Tavoitesideainepitoisuutena oli kaikilla osuuksilla 3,5 %. Vaikka keskiarvot olivat melko lähellä tavoitetta, oli keskihajonta toteutuneissa sideainepitoisuuksissa suuri etenkin bitumiemulsiolla tehdyllä koeosuudella ja osuudella, jossa käytettiin teräsverkkoa. Bitumiemulsion on oletettu yleensä levittyvän vaahdotettua bitumia tasaisemmin, mutta tässä tutkimuksessa emulsioosuus jäi epähomogeenisimmaksi. Vaahtobitumiosuuksilla sideaineen ja kautuminen stabiloitavaan kerrokseen oli melko tasaista ottaen huomioon, että työ tehtiin paikallasekoituksena.

Sideainepitoisuuksien lisäksi näytteistä tutkittiin kiviaineksen rakeisuus ja vesipitoisuus. Vesipitoisuusmittausten tulokset on koottu taulukkoon 4. Rakeisuudet on koottu osuuksittain liitteeseen 5. Rakeisuuskäyrät ovat viiden näytteen rakeisuuksien keskiarvoja ja lisäksi on esitetty keskihajonta, joka kuvaa stabiloinnin homogeenisuutta poikkileikkauksen eri kohdissa.

Taulukko 4. Vesipitoisuudet (%) eri koeosuuksilla poikkileikkauksen eri kohdissa.

Table 4. Water content (%) determined for each test section on different cross-section spots.

Nro	PL	Pientareen reuna	Oikea ajoura	Keskellä kaistaa	Työsauma	Vasen ajoura	KA	KH
1	1075	3,67	3,86	4,52	4,22	3,32	3,92	0,36
2	1275	4,25	5,51	5,82	4,10	4,71	4,88	0,63
3	1475	3,91	3,18	3,91	3,61	2,62	3,45	0,44
4	2100	3,41	3,20	2,81	2,28	2,50	2,84	0,37
5	15975	1,76	2,01	1,95	2,62	2,24	2,12	0,25

Stabiloidun materiaalin kosteus vaihteli koeosuutta 2 lukuun ottamatta välillä 2 - 4 %. Koeosuudella 2 sideaine lisättiin emulsiona, ja emulsiosta sen murtuessa vapautuneen veden vuoksi tuoreen stabiloinnin vesipitoisuus oli suurempi kuin muilla osuuksilla. Vesipitoisuuden vaihdellessa koeosuteissa mitatuissa rajoissa ei sillä ollut vaikutusta sideaineen sekoittumiseen stabiloitavaan kerrokseen. Sideainepitoisuuksien hajonnan ja vesipitoisuuden välille ei ollut löydettävissä korrelaatiota.

Työn aikana selvitettiin kenttälaboratorion laadunvalvontatutkimusten lisäksi koeosuuksien tiivistymistä Troxler-mittauksin. Eri koeosuuksien tiivistymisessä (taulukko 5) ei ollut merkittäviä eroja.

Taulukko 5. Stabiloidun kerroksen tiiviysaste koeosuuksittain (% Proctor-kokeella määritetystä maksimikuivairtoihydestä).

Table 5. Compaction index for stabilised sections (% of maximum dry density determined by Proctor-test).

Koeosuus	Tiiviysaste (%)	
	Kaistan keskellä	oikea ajoura
1	89,9	90,2
2	90,2	88,8
3	90,0	91,3
4	90,3	89,7
6	91,0	90,5

4.4 Laboratoriotutkimukset koerakentamisen jälkeen

Jokaiselta koeosuudelta otettiin massanäytteitä myös myöhempiä laboratorioselvityksiä varten. Näytteet otettiin koeosuuksittain samalta paalulta kuin kenttälaboratoriossa tutkitut näytteet. Näytteistä tiivistettiin laboratoriossa koekappaleita, joiden halkaisija oli 150 mm. Tiivistys tehtiin kiertotiivistimellä. Rinnakkaisia koekappaleita pyrittiin valmistamaan kaksi. Kuten taulukoon 6 kootuista tuloksista ilmenee, ei osa näytteistä kuitenkaan pysynyt koossa koestukseen asti. Tulokset on esitetty keskiarvoina.

Koekappaleista määritettiin halkaisuvetolujuudet + 10 °C lämpötilassa 7 vuorokauden ikäisenä. Koekappaleita säilytettiin 6 vrk kuivassa ja huoneenlämmössä, ja ne temperoitiin koestuslämpötilaan viimeisen vuorokauden aikana ennen lujuuksien määrittämistä.

Taulukko 6. Laboratoriossa tiivistettyjen näytteiden tiheydet ja halkaisuvetolujuudet.

Table 6. Density and indirect tensile strength values for samples compacted in the laboratory.

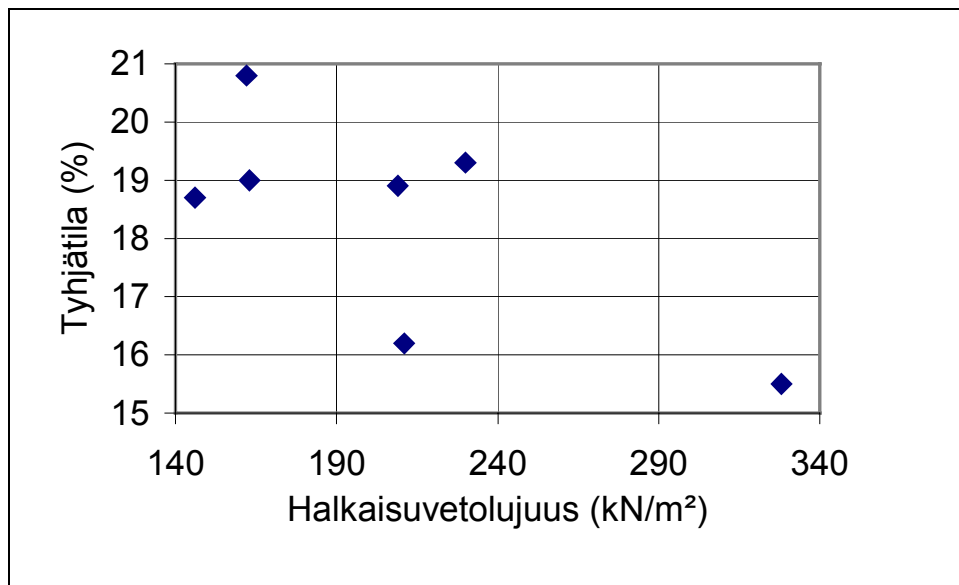
Nro	PL	HVL (kN/m ²) näyte 1	HVL (kN/m ²) näyte 2	HVL KA (kN/m ²)	Tyhjätila (%)	Näytteen tiheys (kg/m ³)
1	1075	Rikki	146	146	18,7	2127
2	1275	230	209	220	16,8	2141
3	1475	211	163	187	17,6	2141
4	2100	162	rikki	162	20,8	2080
5	15975	328	rikki	328	15,5	2210

Yhden koekappaleen valmistamiseen tarvittavan suuren näytemäärän takia koekappaleita oli mahdollista valmistaa vain kaksi rinnakkaista. Kun kappaleitten koossapysyvyys vielä oli heikko, ei rinnakkaisnäytteiden perusteella pystytty päättämään mitään massan mahdollisen epähomogeenisuuden vaikutuksesta stabiloinnin lujuuteen. Kymmenestä tiivistetystä näytteestä kolme rikkoutui ennen halkaisuvetolujuuskokeen tekemistä, mutta kaikilta koeosuuksilta saatiin kuitenkin lujuusarvo määritetyksi.

Vaikka tavoitesideainepitoisuus oli kaikilla koeosuuksilla sama, oli halkaisuvetolujuusarvoissa kuitenkin selkeitä eroja. Tämän tosin hyvin suppean aineiston perusteella havaittiin seuraavaa:

- stabiloinnin lujuus ei kasvanut sideaineen kovetessa
- stabiloinnin lujuudessa ei ollut eroa vaahtobitumi- ja bitumiemulsiostabilointinäytteiden välillä. Vesi oli poistunut massasta kuljetuksen ja näytteiden säilytyksen aikana.
- hyvä ja tehokas tiivistäminen on ensisijaisen tärkeää stabilointitöissä

Kuvassa 5 on esitetty näytteen tiiviyyden vaikutus materiaalin lujuuteen. Kyse on laboratoriossa valmistetuista yksittäisnäytteistä, joista mitattiin sekä tyhjätila että halkaisuvetolujuus. Tulos osoittaa, että löyhäksi jäädessään stabiloinnin halkaisuvetolujuus jää puoleen arvosta, joka samalla materiaallilla on mahdollista saavuttaa hyvin tiivistettynä.



Kuva 5. Näytteen tiivistymisen vaikutus halkaisuvetolujuuteen.

Figure 5. Influence of compaction to indirect tensile strength.

5. SEURANTAMITTAUKSET

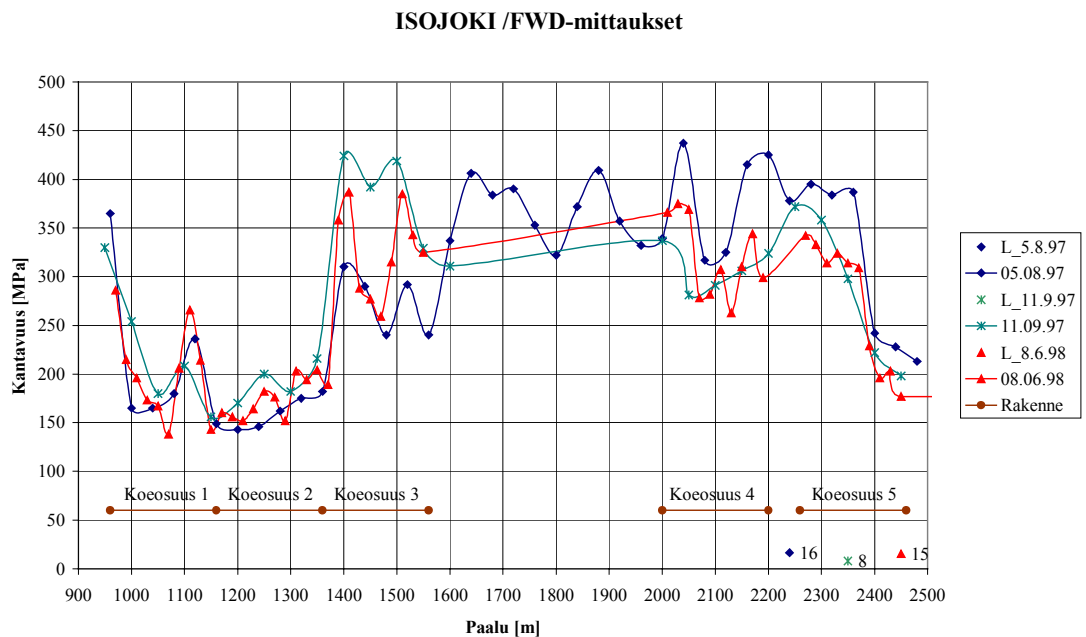
5.1 Kantavuusmittaukset

Vaasan tiepiiri teki kantavuusmittauksia koekohteessa sekä ennen stabi-
lointia että sen jälkeen. Mittauksia tehtiin tiepiirin pudotuspainolaitteella
(Kuab) ja Loadmanilla.

Loadman-mittaukset ennen ja jälkeen stabiloinnin on esitetty liitteessä 6.
Koeosuuksille osui vain muutama piste, mutta stabilointi nosti kanta-
vuusarvon noin kaksinkertaiseksi.

Ennen stabilointia tehdyt pudotuspainomittaukset tehtiin 5.8.1997 osittain
esijärsityn pohjan päältä. Stabiloinnin jälkeen mittaukset tehtiin 28.8.1997 ja
päällystämisen jälkeen 11.9.1997. Vuoden 1998 kevätmittaukset tehtiin
8.6.1998. Tulokset on esitetty kuvissa 6 - 17 sekä liitteessä 7 lukuarvoina.

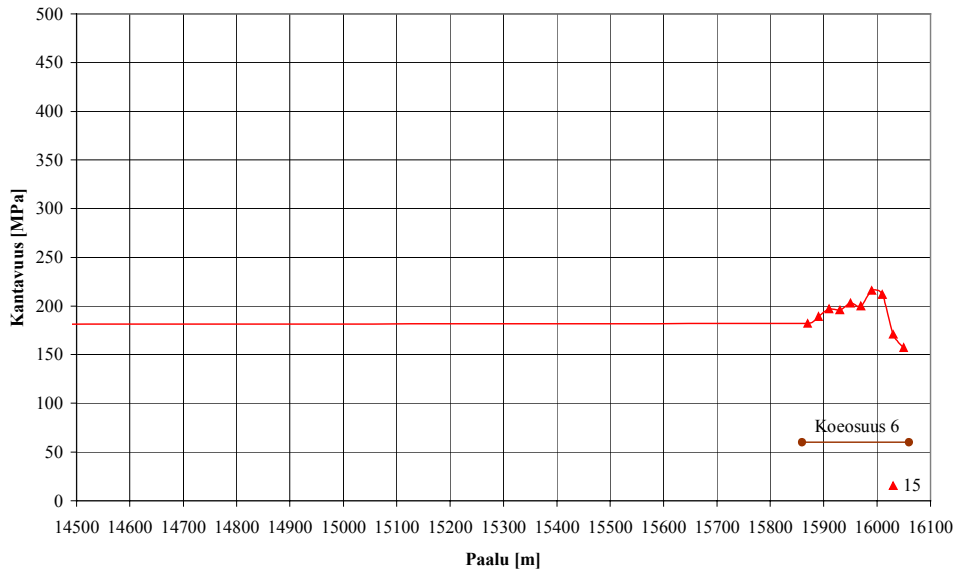
Kuvissa 6 ja 7 on esitetty tehtyjen mittausten perusteella lasketut kanta-
vuusarvot koko koerakennuskohteessa ja kuvissa 8 - 10 samat arvot koe-
osuuksittain.



Kuva 6. Kantavuusarvot bitumistabiloinnin päältä 05.08.-97 sekä päällysteen
päältä 11.09.-97 ja 08.06.-98.

Figure 6. Bearing capacity on stabilized layer (05.08.-97) and on wearing cour-
se (11.09.-97 and 08.06.-98).

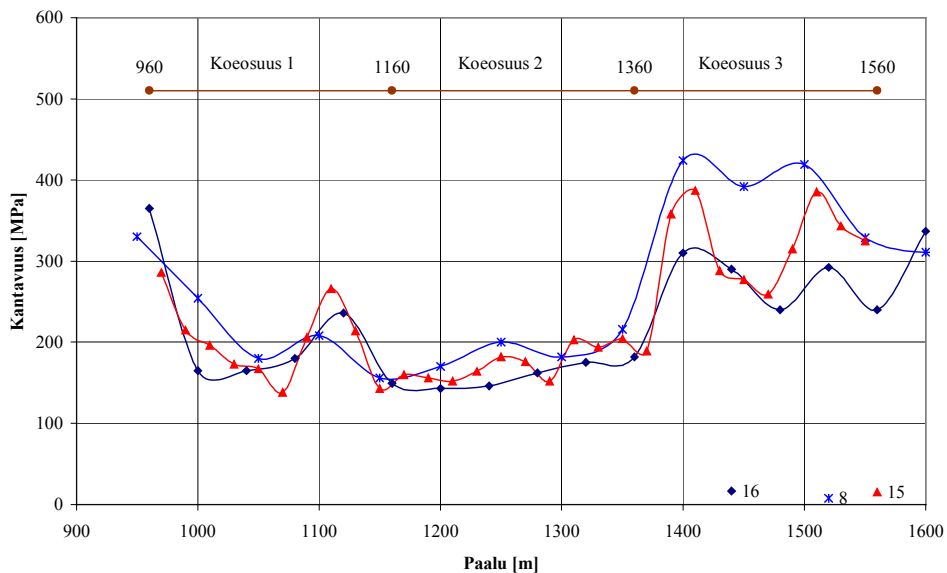
ISOJOKI /FWD-mittaukset



Kuva 7. Kantavuusarvot päällysteen päältä (08.06.-98) koeosuudella 6.

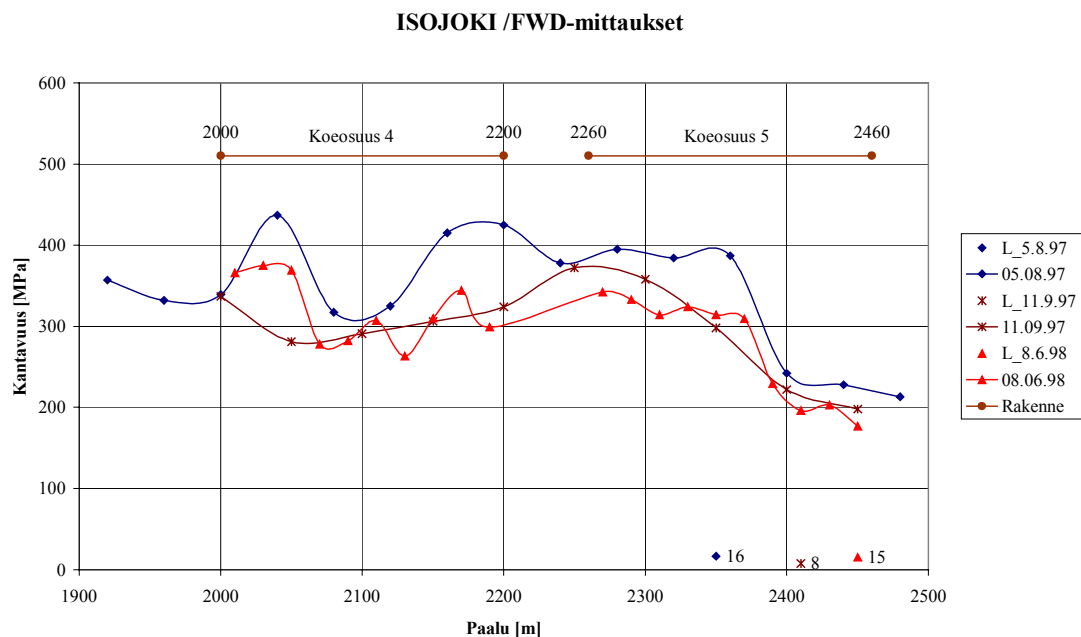
Figure 7. Bearing capacity on wearing course (08.06.-98), test section 6.

ISOJOKI /FWD-mittaukset



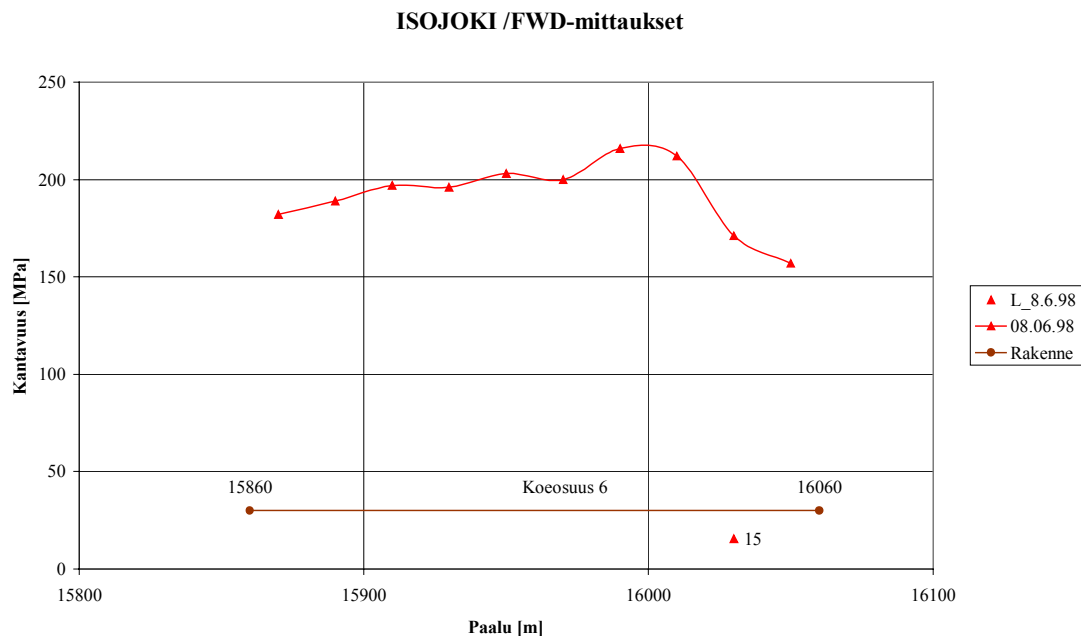
Kuva 8. Kantavuusarvot koeosuuksilla 1 - 3.

Figure 8. Bearing capacity on test sections 1 – 3.



Kuva 9. Kantavuusarvot koeosuuksilla 4 - 5.

Figure 9. Bearing capacity on test sections 4 - 5.



Kuva 10. Kantavuusarvot koeosuudella 6.

Figure 10. Bearing capacity on test section 6.

Bitumistabiloinnin päältä (05.08.-97) mitatut kantavuudet vaihtelivat koeosuudella 1 välillä 165...365 MPa, keskiarvon ollessa 222 Mpa, koeosuudella 2 arvot olivat välillä 143...182 MPa, keskiarvon ollessa 160 MPa, koe-

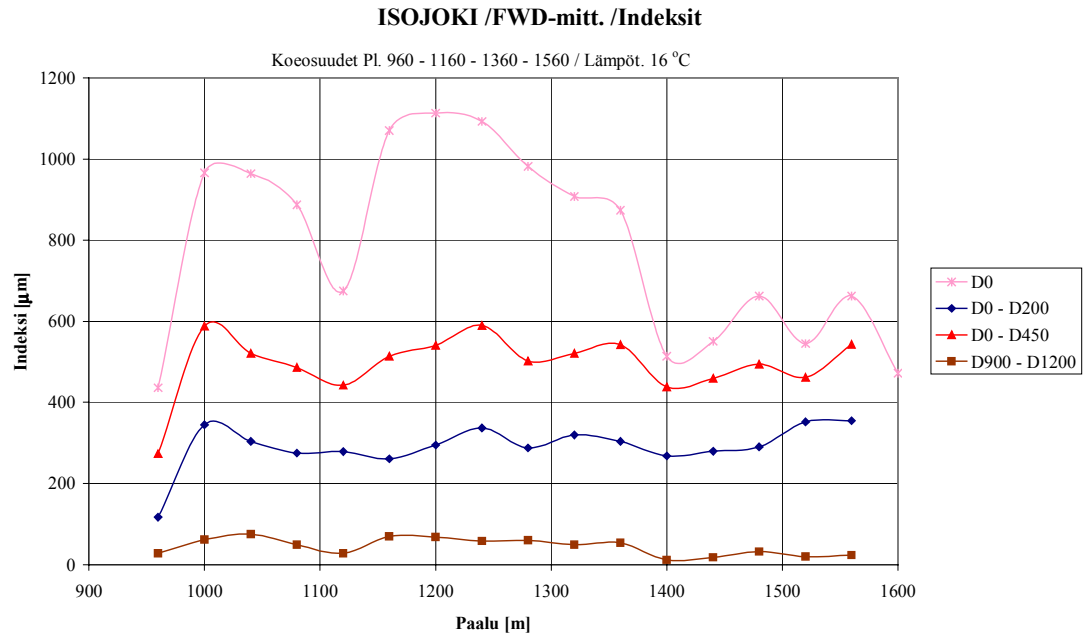
osuudella 3 välillä 240...310 MPa, keskiarvon ollessa 274 MPa, koeosuudella 4 välillä 317...437 MPa, keskiarvon ollessa 376 Mpa ja koeosuudella 5 välillä 226...395 MPa, keskiarvon ollessa 327 MPa. Keskimääräinen mittauslämpötila oli 16 °C.

Päällysteen päältä mitatut kantavuudet vaihtelivat syyskuun 1997 mittauksessa koeosuudella 1 välillä 156...254 MPa, keskiarvon ollessa 200 Mpa, koeosuudella 2 vaihteluväli oli 170...216 MPa, keskiarvon ollessa 192 MPa, koeosuudella 3 välillä 329...424 MPa, keskiarvon ollessa 391 MPa, koeosuudella 4 arvot olivat välillä 281...337 MPa, keskiarvon ollessa 308 Mpa ja koeosuudella 5 välillä 198...358 MPa, keskiarvon ollessa 269 MPa. Keskimääräinen mittauslämpötila oli 8 °C.

Päällysteen päältä mitatut kantavuudet vaihtelivat kesäkuun 1998 mittauksessa koeosuudella 1 välillä 138...286 MPa, keskiarvon ollessa 200 Mpa, koeosuudella 2 välillä 152...204 MPa, keskiarvon ollessa 174 MPa, koeosuudella 3 arvot olivat välillä 189...387 MPa, keskiarvon ollessa 313 MPa, koeosuudella 4 välillä 263...375 MPa, keskiarvon ollessa 319 Mpa, koeosuudella 5 välillä 177...342 MPa, keskiarvon ollessa 274 MPa ja koeosuudella 6 vaihteluväli oli välillä 157...216 MPa, keskiarvon ollessa 192 MPa. Keskimääräinen mittauslämpötila oli 15 °C.

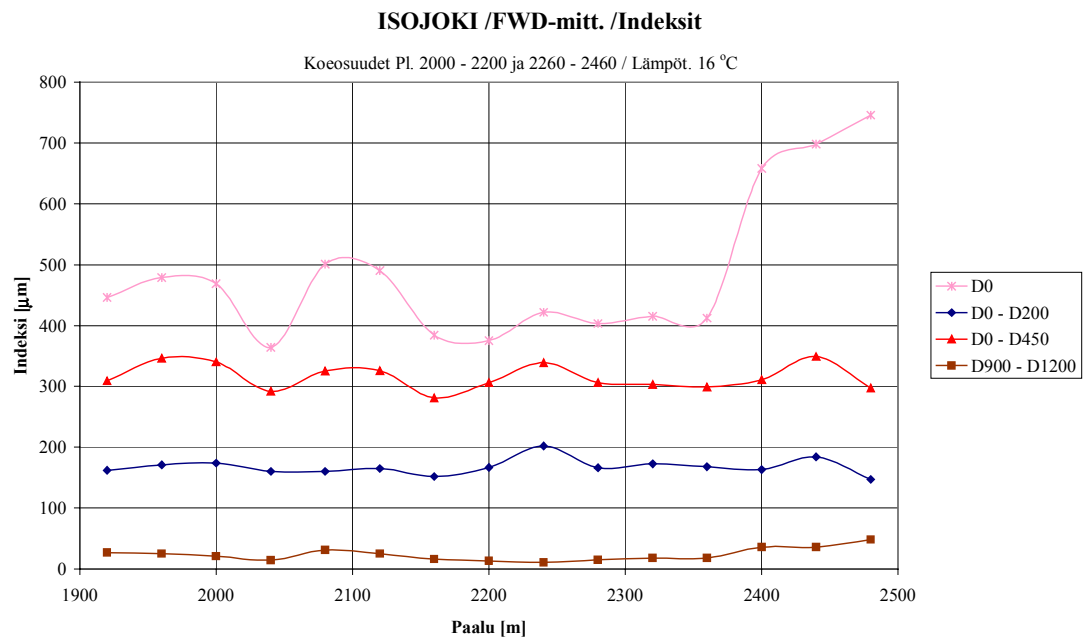
Pudotuspainomittauksia voidaan analysoida tarkemmin eri indekseillä, jotka kuvaavat eri rakennekerrosten käyttäytymistä. Kuormituslevyn keskellä mitattu taipuma D0 kuvaa perinteistä kantavuusarvoa, D0-D200 kuvaa sidottujen kerrosten käyttäytymistä, D0-D450 kuvaa sidottujen kerrosten + sitomattoman kantavan kerroksen käyttäytymistä ja lopuksi D900-D1200 pohjamaan käyttäytymistä.

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty edellä kuvatut indeksit bitumistabiloinnin päältä ennen päällystystä elokuussa 1997, kuvissa 13 ja 14 indeksit valmiin päällysteen päältä syyskuussa 1997 ja kuvissa 15 - 17 indeksit valmiin päällysteen päältä mitattuna kesäkuussa 1998.



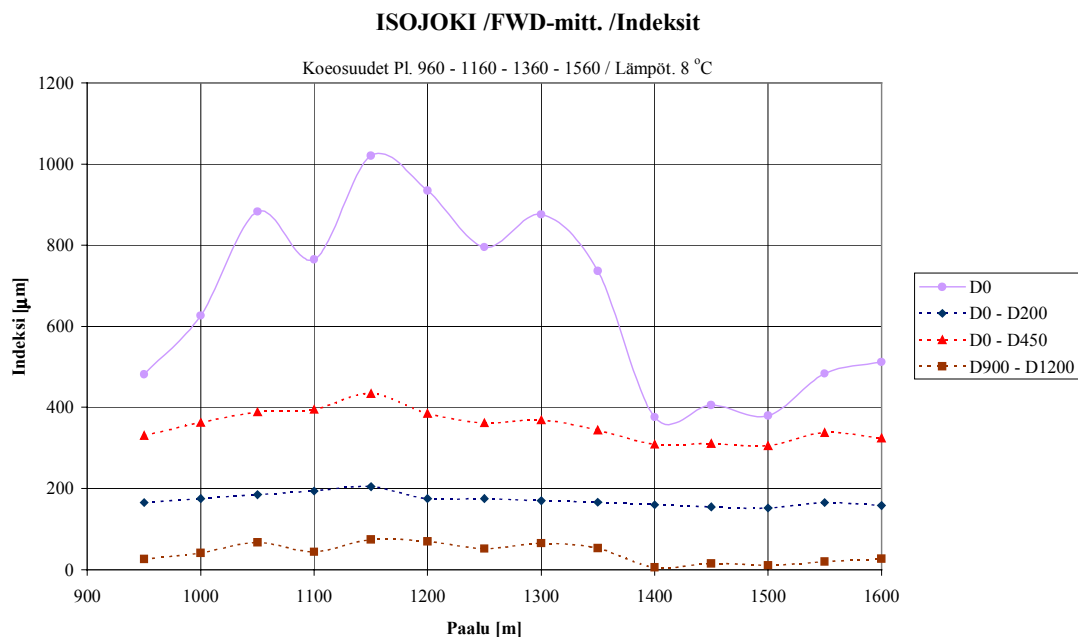
Kuva 11. Pudotuspaino-indeksit bitumistabiloinnin päältä koeosuuksilla 1-3.

Figure 11. FWD indexes measured on bitumen stabilization, test sections 1-3.



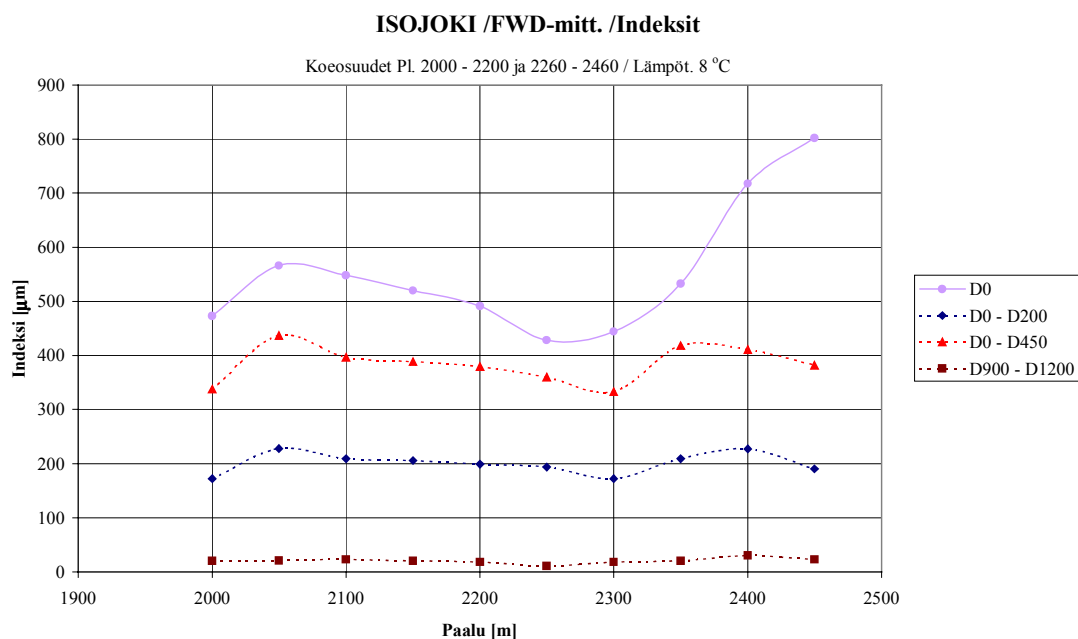
Kuva 12. Pudotuspaino-indeksit bitumistabiloinnin päältä koeosuuksilla 4-5.

Figure 12. FWD indexes measured on bitumen stabilization, test sections 4-5.



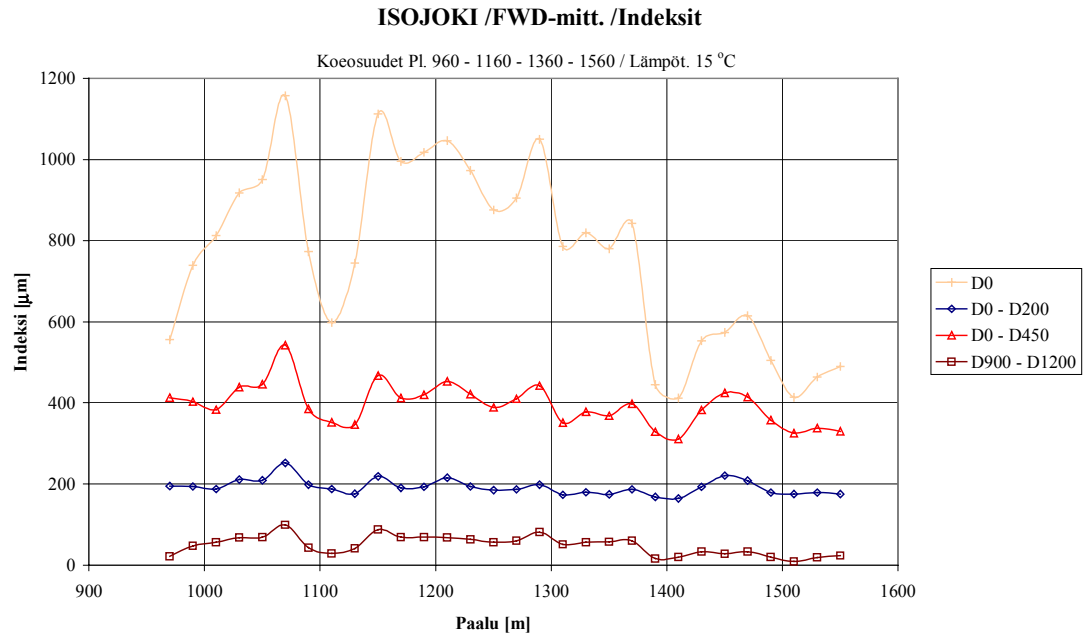
Kuva 13. Pudotuspaino-indeksit päällysteen päältä syyskuussa 1997 koe-osuuksilla 1-3.

Figure 13. FWD indexes measured on wearing course in September 1997, test sections 1-3.



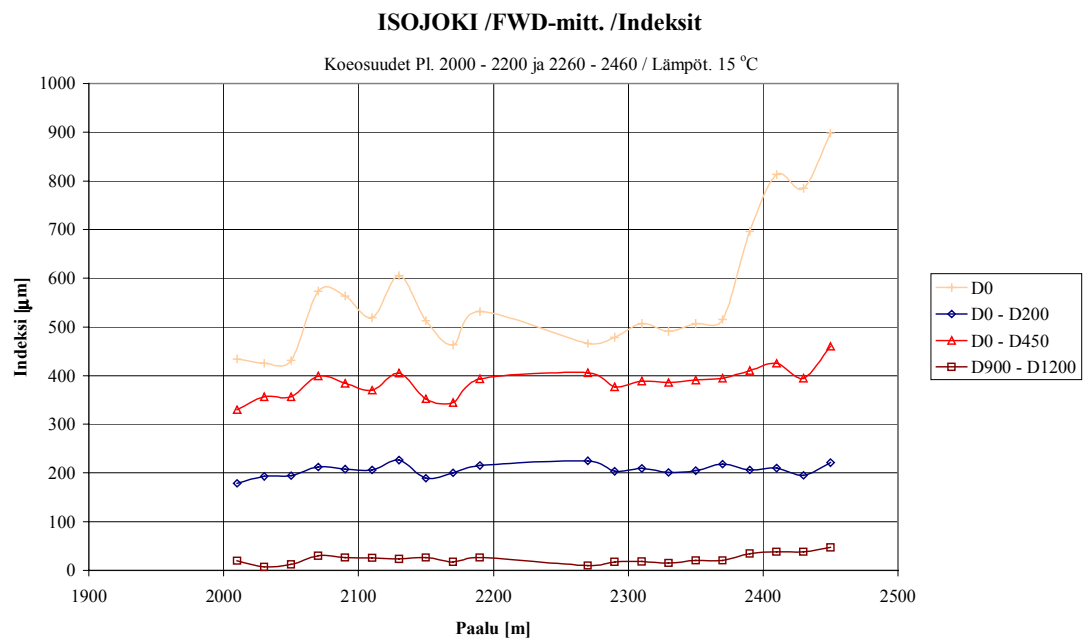
Kuva 14. Pudotuspaino-indeksit päällysteen päältä syyskuussa 1997 koe-osuuksilla 4-5.

Figure 14. FWD indexes measured on wearing course in September 1997, test sections 4-5.



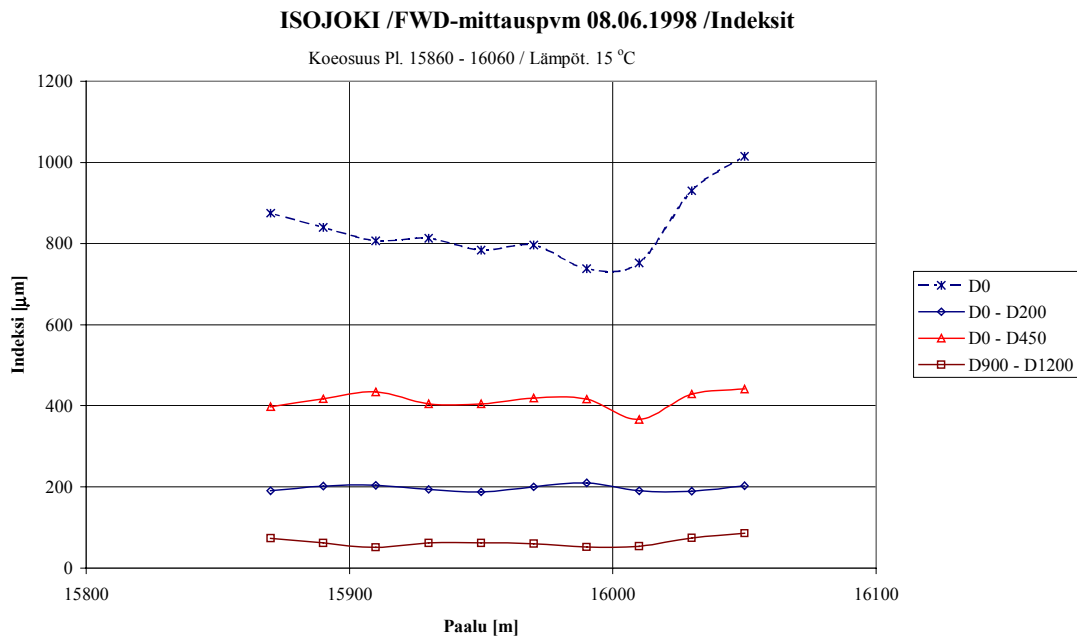
Kuva 15. Pudotuspaino-indeksit päällysteen päältä kesäkuussa 1998 koeosuuksilla 1 – 3.

Figure 15. FWD indexes measured on wearing course in June 1998, test sections 1-3.



Kuva 16. Pudotuspaino-indeksit päällysteen päältä kesäkuussa 1998 koeosuuksilla 4-5.

Figure 16. FWD indexes measured on wearing course in June 1998, test sections 4-5.



Kuva 17. Pudotuspaino-indeksit päällysteen päältä kesäkuussa 1998 koeosuu-
della 6.

Figure 17. FWD indexes measured on wearing course in June 1998, test secti-
on 6.

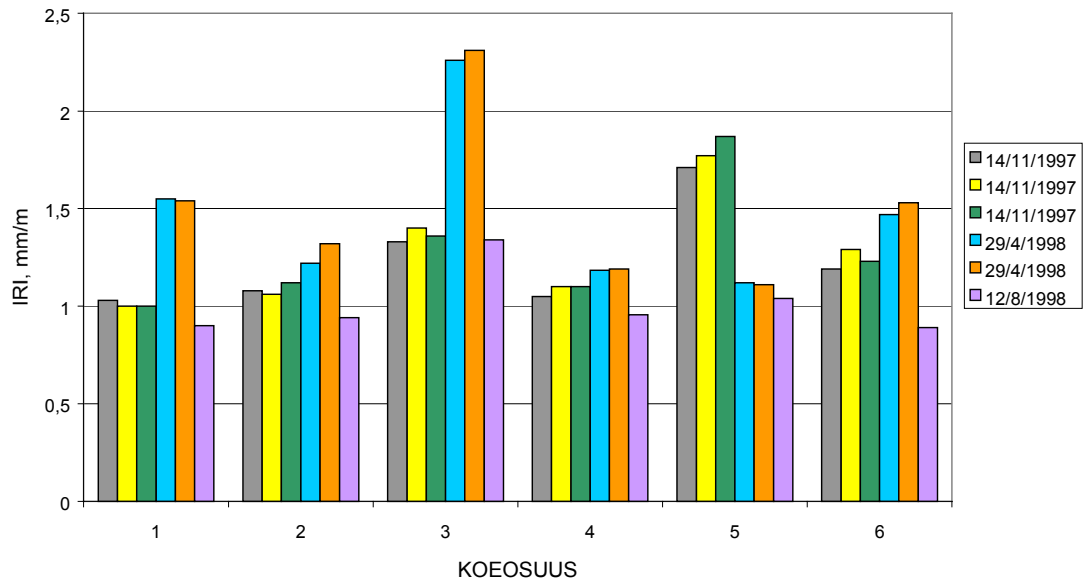
5.2 Palvelutasomittaukset

Koekohteella tehtiin palvelutasomittauksia 14.11.1997, 29.4.1998, 12.8. 1998, 8.4. ja 17.8.1999, 12.4. ja 1.8.2000 sekä 10.4. ja 20.8.2001. Vuonna 1997 kohteelta mitattiin ainoastaan pituusprofiilit ja IRI-arvot. Vuoden 1998 mittauksissa ovat pituusprofiilien lisäksi mukana myös epätasaisuusmittaukset (IRI, IRI4), tien geometria (kaltevuudet) sekä makro- että megakarkeuden tunnusluvut oikealta kaistalta. Vuodesta 1999 alkaen tulokset on tulkittu 5mIRI-arvoina.

Pituussuuntainen tasaisuus määritettiin mittaamalla tien pituusprofiili. Pituusprofiilissa näkyvät epätasaisuudet, joiden aallonpituus on noin 0,5 – 40 m. Tästä mitatusta profiilista voidaan laskea tasaisuutta kuvaavat tunnusluvut (IRI4- ja IRI-arvo). IRI4 kuvaa epätasaisuutta, jonka aallonpituus on noin 0,5 – 4 m ja IRI:n 0,5 – 30 m. Tämän lisäksi määritettiin ns. megakarkeus, joka kuvaa lyhytaaltoista (5 – 50 cm) epätasaisuutta. Pinnan karkeus mitattiin makrokarkeutena (aallonpituus 1 – 5 cm).

Kuvassa 18 on esitetty koeosuuksilta mitatut IRI-arvot vuosilta 1997 ja 1998. Liitteessä 8 on tulokset esitetty lukuarvoina ja liitteessä 9 kuvina koe-

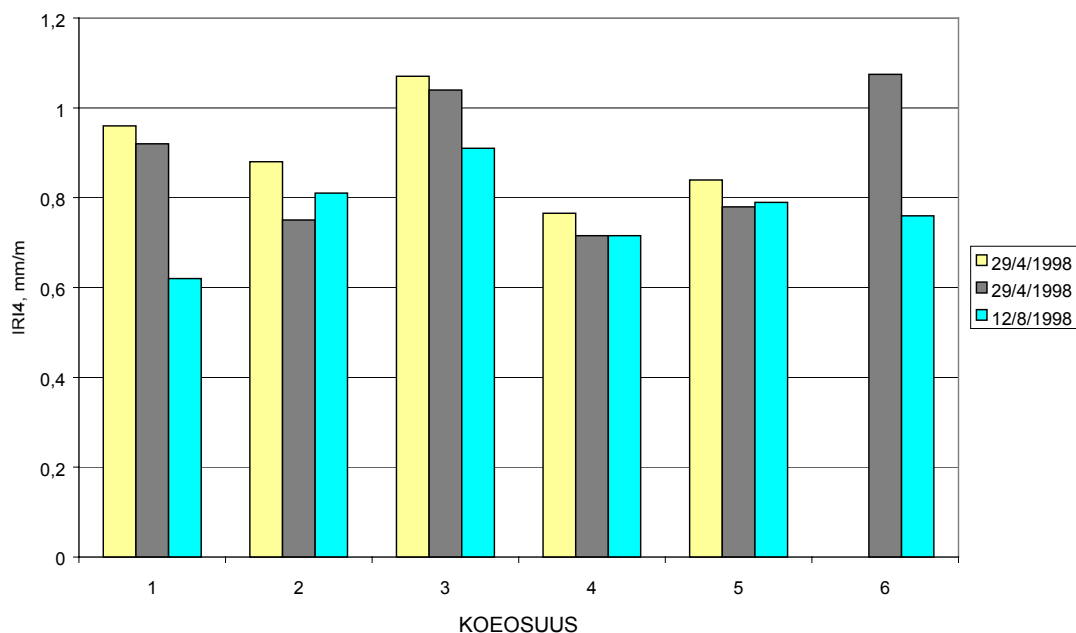
osuuksittain. Mitatut IRI-arvot koeosuuksilla olivat välillä 0,9 – 2,3 mm/m. Tuloksista näkyy keväällä 1998 erityisesti koeosuuksilla 1 ja 3 havaittu epätasaisuuden kasvu. Viimeisimmän syysmittauksen mukaan tasaisuudet olivat samalla tasolla keskenään ja lukuarvoltaan alhaiset.



Kuva 18. Koeosuuksien IRI-arvot.

Figure 18. IRI values of test sections.

Kuvassa 19 on esitetty vuoden 1998 mittausten IRI4-arvot koeosuuksittain osuuden keskiarvona. Liitteessä 10 tulokset ovat lukuarvoina.



Kuva 19. Koeosuuksien IRI4-arvot vuoden 1998 mittauksissa.

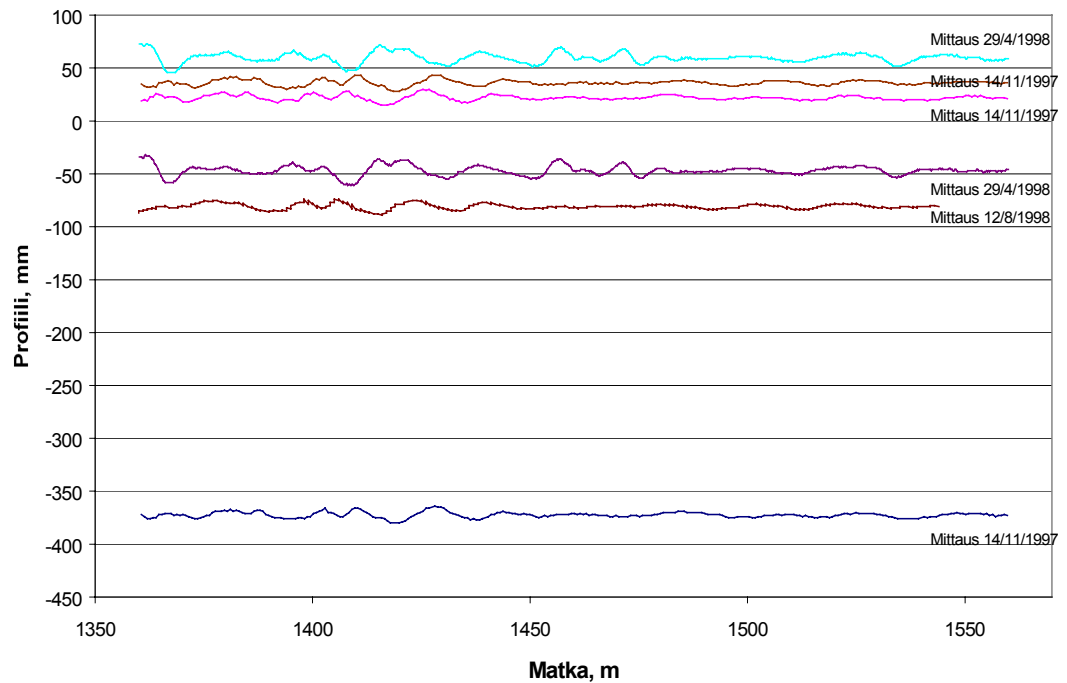
Figure 19. IRI4 values of test sections measured 1998.

Taulukossa 7 on esitetty 12.8.1998 tieosalta 3 mitatut sadan metrin IRI- ja IRI4 keskiarvotulokset väliltä 900-2500 m.

Taulukko 7. IRI- ja IRI4 arvot tieosalla 3 mitattuna 12. 8 1998.

Table 7. IRI and IRI4 values of test section 3 measured 12.8.1998.

Alku	Loppu	IRI	IRI4
900	1000	1.08	0.91
1000	1100	0.90	0.62
1100	1200	1.02	0.79
1200	1300	0.94	0.81
1300	1400	1.18	0.88
1400	1500	1.34	0.91
1500	1600	0.97	0.78
1600	1700	1.07	0.77
1700	1800	1.17	0.68
1800	1900	0.90	0.65
1900	2000	1.12	0.85
2000	2100	0.94	0.70
2100	2200	0.97	0.73
2200	2300	1.84	1.41
2300	2400	1.04	0.79
2400	2500	1.64	1.10

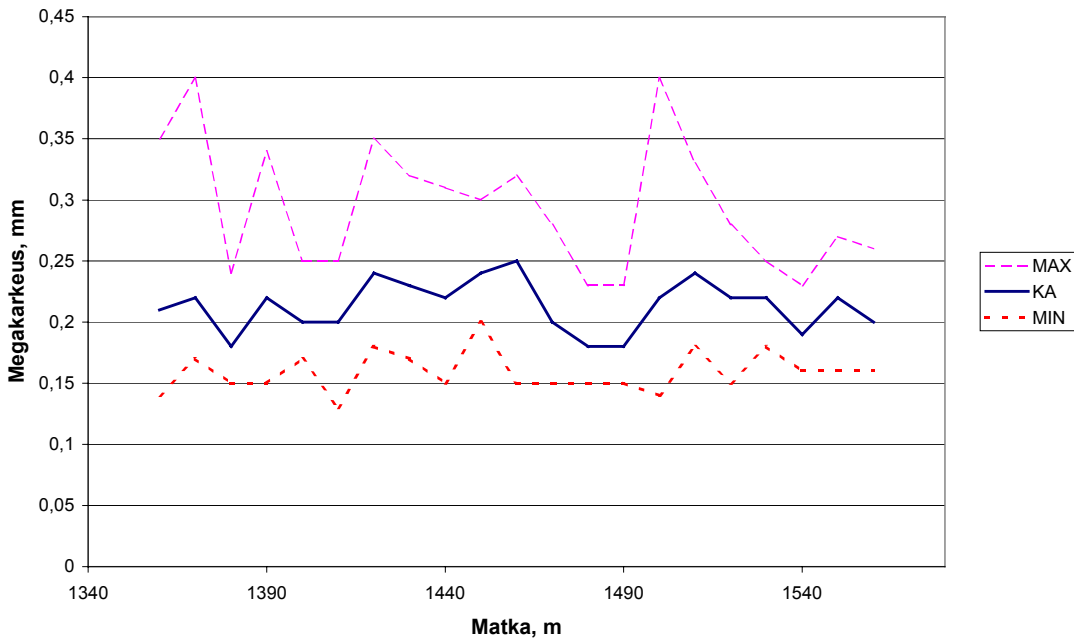


Kuva 20. Pituusprofiilit koeosuudelta 3.

Figure 20. Longitudinal profile of test section 3.

Kuvassa 20 on esitetty esimerkkinä tieosalla 03 olevan koeosuuden 3 pituusprofiilit. Profiilit on mitattu tien oikealta kaistalta. Kaikkien osuuksien mitatut pituusprofiilit on esitetty liitteessä 10. Osuudella mitatut IRI-arvojen muutokset ovat havaittavissa myös profiilimuutoksissa. Pituusprofiilissa tapahtuvan muutoksen selvittämiseksi VTT Yhdyskuntatekniikassa kehitetään laskentamallia. Mallin avulla pyritään laskemaan tunnuslukuja, jotka kuvaavat profiilien muuttumista eri vuosina.

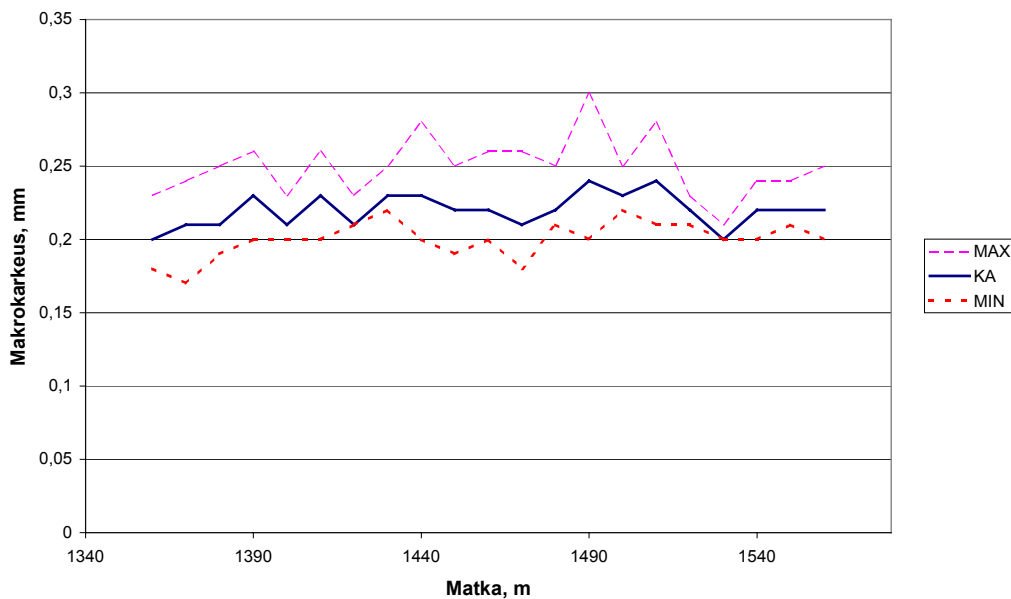
Vuoden 1998 palvelutasomittauksissa mitattiin myös päällysteen mega- ja makrokarkeudet. Kuvassa 21 on esitetty koeosuuden 3 megakarkeus ja kuvassa 22 makrokarkeus. Liitteissä 12 ja 13 on esitetty tulokset osuukittain.



Kuva 21. Koeosuuden 3 megakarkeus.

Figure 21. Mega roughness of test section 3.

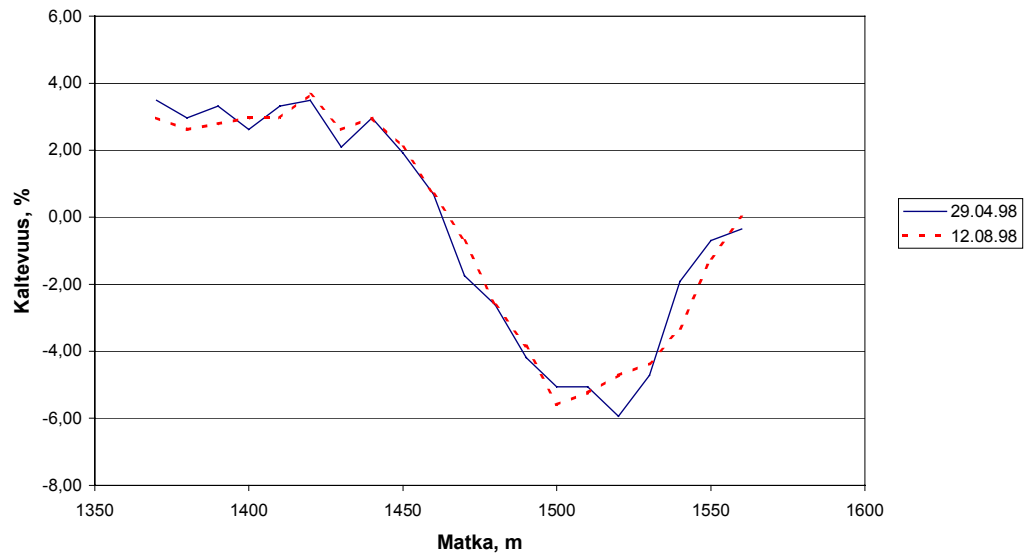
Vuoden 1998 mittauksissa millään koeosuudella ei esiintynyt lyhytaaltoista epätasaisuutta: megakarkeusarvo oli kaikilla melko alhainen (keskimäärin 0,2 - 0,4 mm). Osuudella 5 esiintyi muutama muuta tasoa korkeampi yksittäinen maksimiarvopiikki (0,8 mm). Makrokarkeusarvot olivat kaikilla osuuk-silla alhaiset ja olivat samaa tasoa keskenään (0,2 – 0,35 mm).



Kuva 22. Koeosuuden 3 makrokarkeus.

Figure 22. Macro roughness of test section 3.

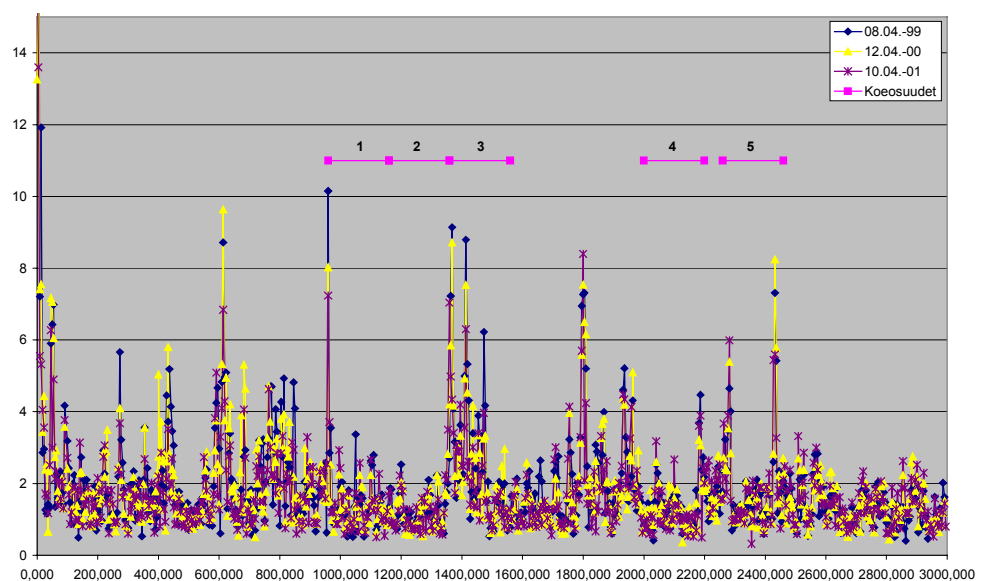
Vuoden 1998 mittauksissa 29.4.1998 ja 12.8.1998 mitattiin erikseen myös sivukaltevuudet oikealta kaistalta. Tulokset on esitetty liitteessä 16, joista kuvassa 23 on esitetty koealueen 3 sivukaltevuudet.



Kuva 23. Koeosuuden 3 sivukaltevuudet oikealla kaistalla.

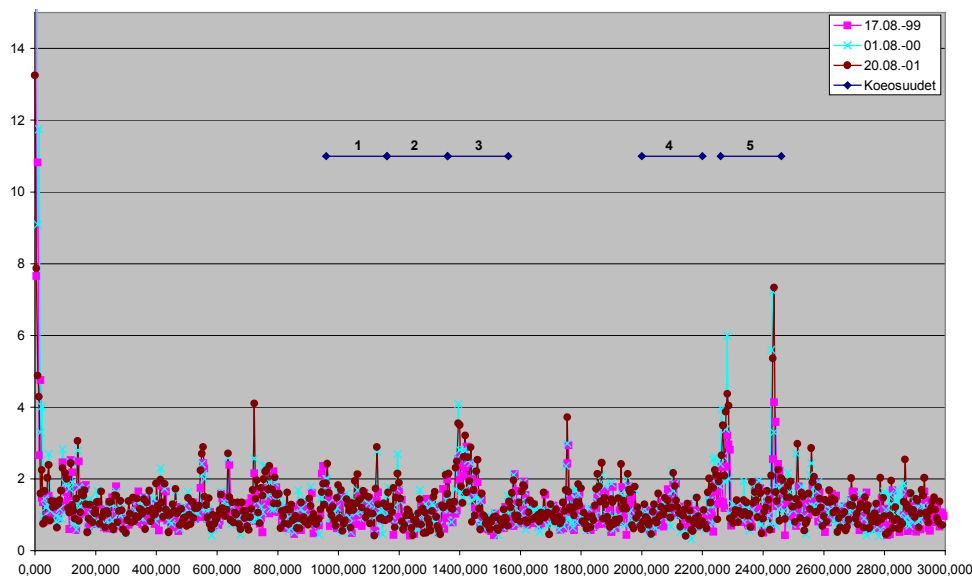
Figure 23. Crossfall of test section 3.

Kuvissa 24-27 on esitetty tasaisuudet 5mIRI-arvoina mitattuna sekä keväisin että syksyisin vuosina 1999-2001. Kuvista voidaan havaita, että tasaisuudet ovat pääsääntöisesti hyviä syksyisin, mutta keväisin on havaittavissa roudan aiheuttamia paikallisia epätasaisuuksia.



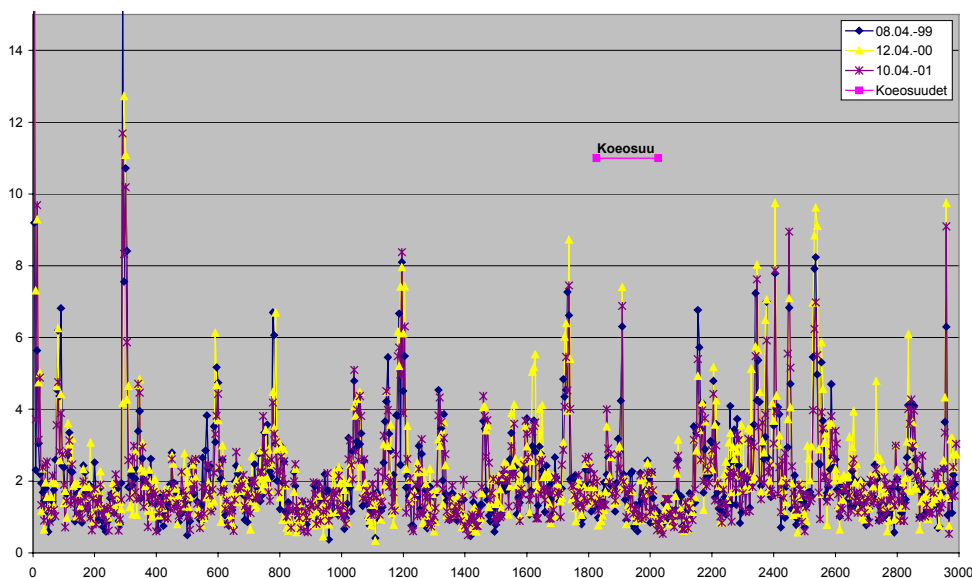
Kuva 24. Koeosuuksien 1-5 tasaisuudet 5mIRI-arvoina keväisin 1999-2001.

Figure 24. 5mIRI values of test sections 1-5 in spring time 1999-2001.



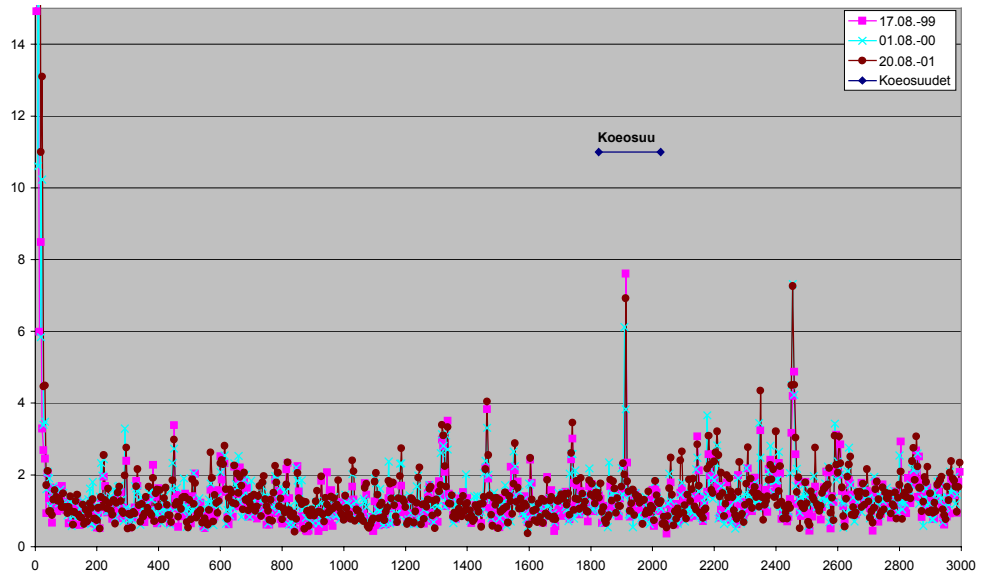
Kuva 25. Koeosuuksien 1-5 tasaisuudet 5mIRI-arvoina syksyisin 1999-2001.

Figure 25. 5mIRI values of test sections 1-5 in autumn time 1999-2001.



Kuva 26. Koeosuuden 6 tasaisuudet 5mIRI-arvoina keväisin 1999-2001.

Figure 26. 5mIRI values of test section 6 in spring time 1999-2001.



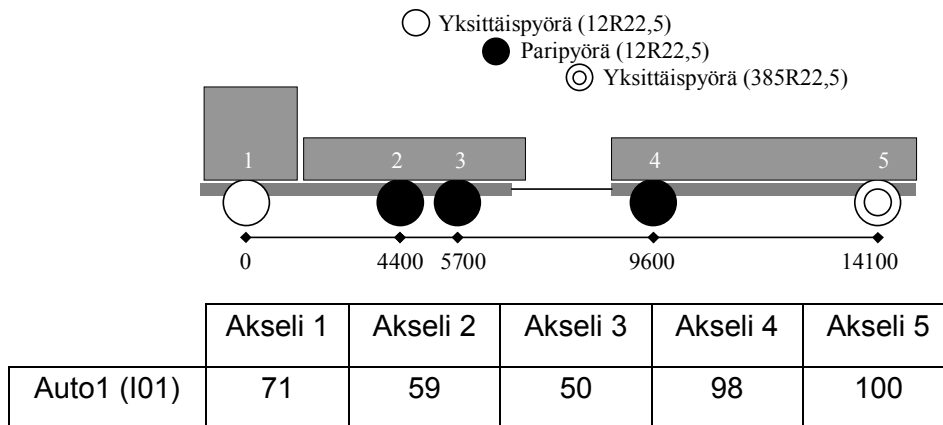
Kuva 27. Koeosuuden 6 tasaisuudet 5mIRI-arvoina syksyisin 1999-2001.

Figure 27. 5mIRI values of test section 6 in autumn time 1999-2001.

5.3 Tierakenteeseen asennettujen antureiden mitaukset

Tierakenteeseen asennetuilla paineantureilla mitattiin liikkuvan pyörän aiheuttamaa lisäkuormitusta tierakenteeseen tasolle, jossa anturi sijaisi. Ajoneuvon ylittäessä mittauspaikan auton aiheuttama jännitys anturiin mitattiin VTT:n mittauslaitteistolla. Kun mittauksia tehtiin vuosittain samoissa olosuhteissa, voitiin tierakenteen kuntoa arvioida anturin yläpuolisten kerrosten osalta. Tässä tapauksessa seurantamittauksilla voitiin arvioida erilaisten bitumistabilointien toimivuutta ja kestoikää.

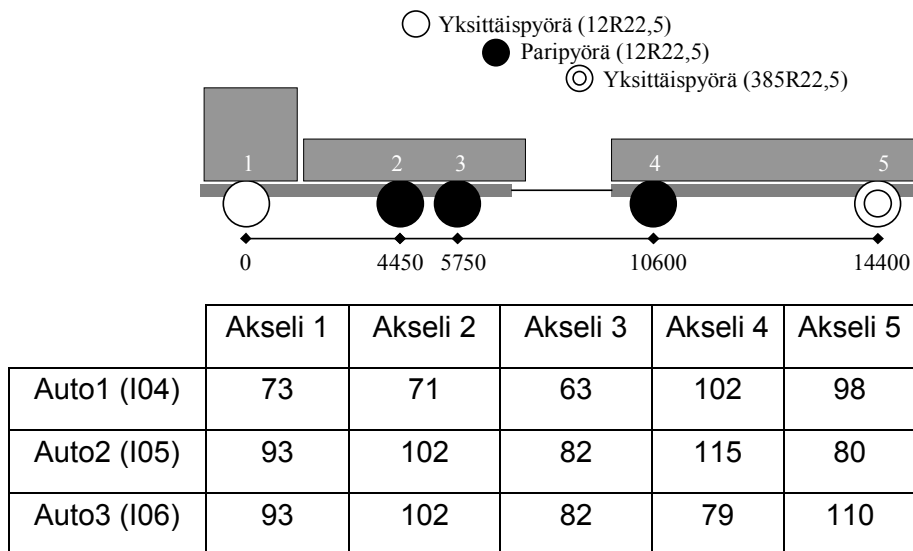
Mittaukset tehtiin ensimmäisen kerran 14.11.1997. Aikaisen talven tulon takia voitiin mitata vain alueet 1, 2 ja 6. Kuormittavana ajoneuvona oli Tielaitoksen ajoneuvo, joka muodostui kolmiakselisesta vetoautosta ja kaksiakselisesta perävaunusta. Perävaunun etuakselilla oli tavanomaiset paripyörät ja jälkimmäisellä akselilla leveät yksittäispyörät (ns. super single). Kuvassa 28 on esitetty vuoden 1997 mittauksissa käytetty kuorma-autotyyppi ja käytetyt akselipainot sekä rengastyypit. Mittausnopeutena oli 50 km/h ja kunkin ylityksen sivuttaissijainti anturiin nähden mitattiin manuaalisesti. Kullakin painolla tehtiin niin paljon mittauksia, että voitiin päätellä kyseisen painon kummallakin pyörätyypillä aiheuttama maksimijännitys anturiin (kuvat 30-31).



Kuva 28. Kuorma-auton akselipainot [kN] Isojoen (1997) mittauksissa.

Figure 28. Axle loads in measurements 1997.

Toisen kerran mittaukset tehtiin 21 - 23.9.1998. Kuormittavana ajoneuvona oli vastaava yhdistelmä. Mittaukset tehtiin kolmella akselipainolla sekä pari-pyöräakselilla että yksittäispyöräakselilla, jotta saatiin selville akselipainon vaikutus vasteisiin. Perävaunu kuormattiin niin, että kummallakin perävaunun akselilla oli vuorollaan 80, 100 ja 115 kN kuorma. Kuvassa 29 on esitetty kuorma-autotyyppi, toteutuneet akselipainot sekä rengastiedot. Päälysteen lämpötila oli mitausten aikana noin 15 °C.

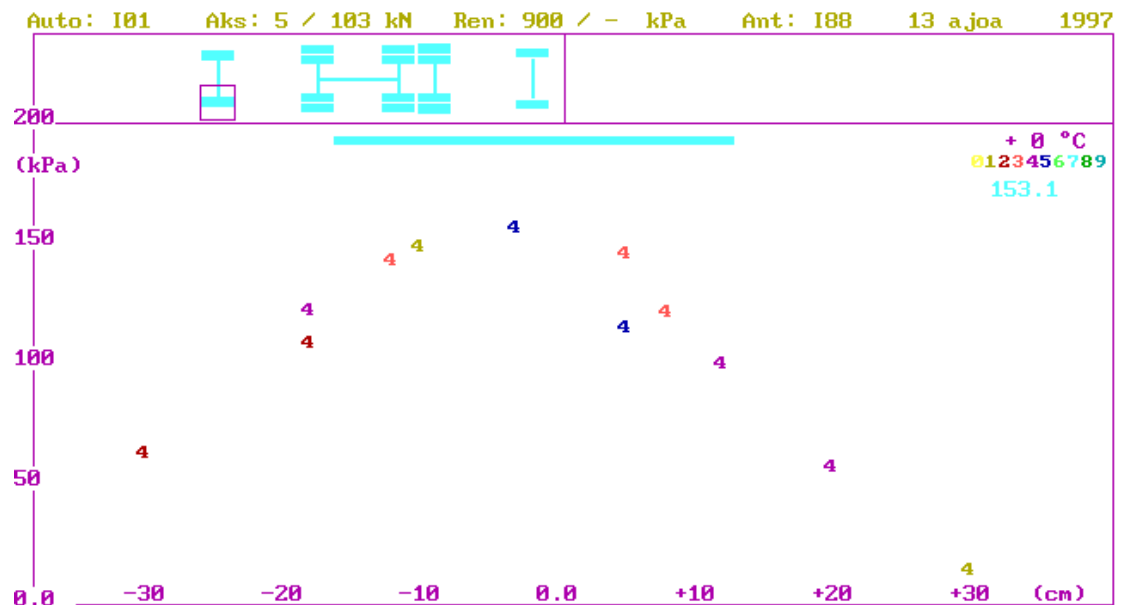


Kuva 29. Kuorma-auton akselipainot [kN] Isojoen (1998) mittauksissa.

Figure 29. Axle loads in measurements 1998.

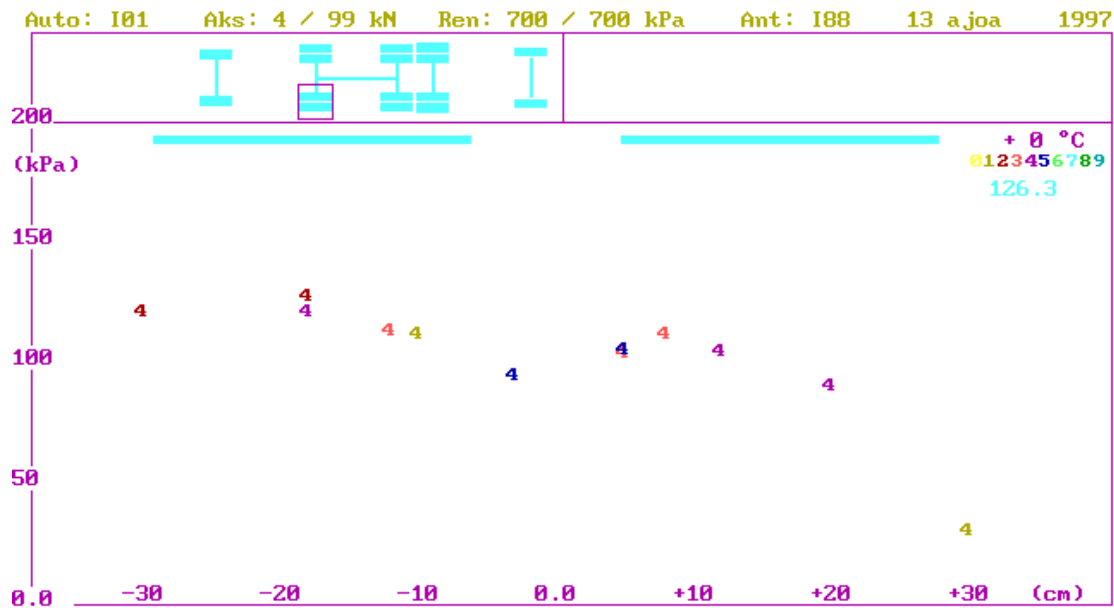
Kuvissa 30 ja 31 on esitetty esimerkkinä antureiden tulostuksesta koeosuuden 5 anturi I88 vuoden 1998 mittauksista. Kuvassa 30 on vetovaunun yksittäispyörän aiheuttama jännityskuvio stabilointikerroksen alapuolelle. Kuvassa 31 on esitetty vastaava jännityskuvio samanpainoisen paripyöräakselin aiheuttamana. Kuvista voidaan havaita selvä ero pyörätyyppien vaikutuksesta tierakenteeseen. Seuraavina vuosina tehtävillä mittauksilla arvioitiin rakenteen jäykkyyden kehittymistä sekä absoluuttisesta jännitystasosta että jännityksen jakautumisesta poikkisuunnassa pyörään nähden. Jos rakenteen (bitumistabiloinnin) jäykkyys kasvaa, jännityksen jakautumiskuvio tulee laakeammaksi.

Kummallekin pyörätyypille piirrettiin kuvien mukaiset kuvat kolmella akselipainolla. Nämä kuvat tehtiin kaikille rakenteille, joissa muuttujana oli erilainen stabilointirakenne. Näistä kuvista voitiin päätellä, kuinka paljon jännitystä kukin rakenne päästi lävitseen alapuoliseen kerrokseen. Tulokset on esitetty kuvissa 32 - 34. Seuraavina vuosina tehdyillä mittauksilla arvioitiin rakenteiden toimivuutta ja pääteltiin, mikä stabilointirakenne oli teknisesti ja taloudellisesti optimaalinen kyseisen luokan tiellä.



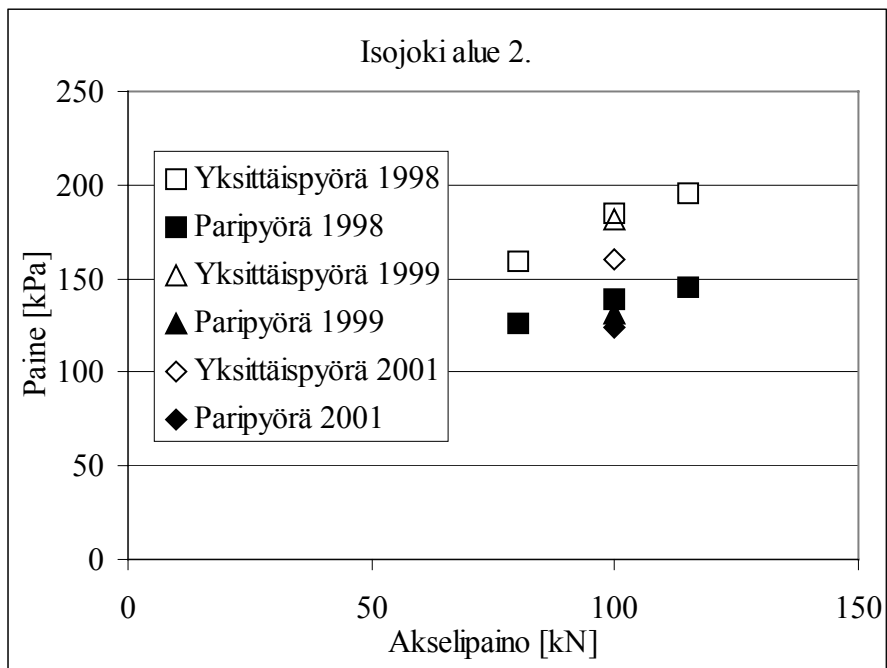
Kuva 30. Yksittäispyörän aiheuttama jännitys bitumistabilointikerroksen alapuolelle.

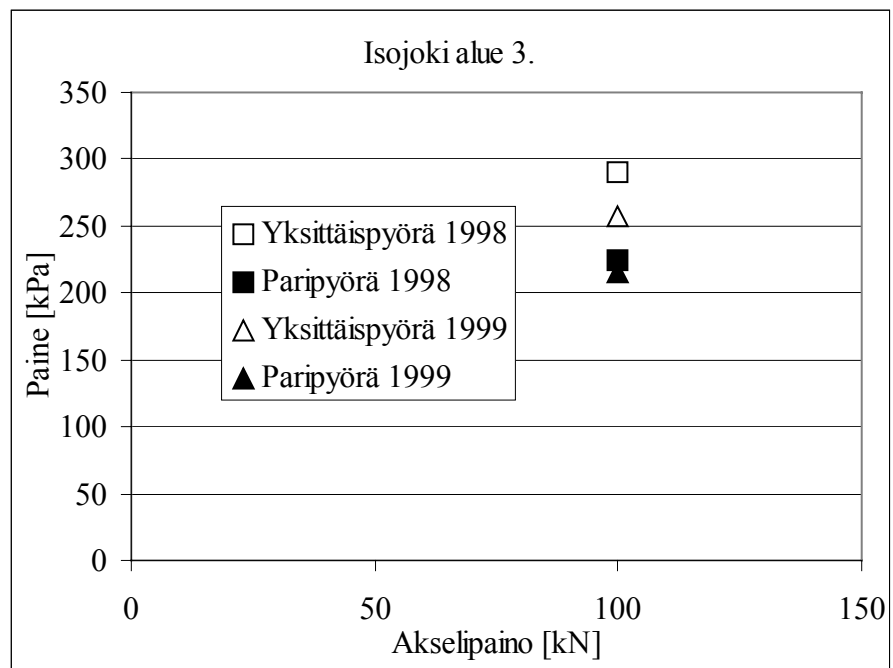
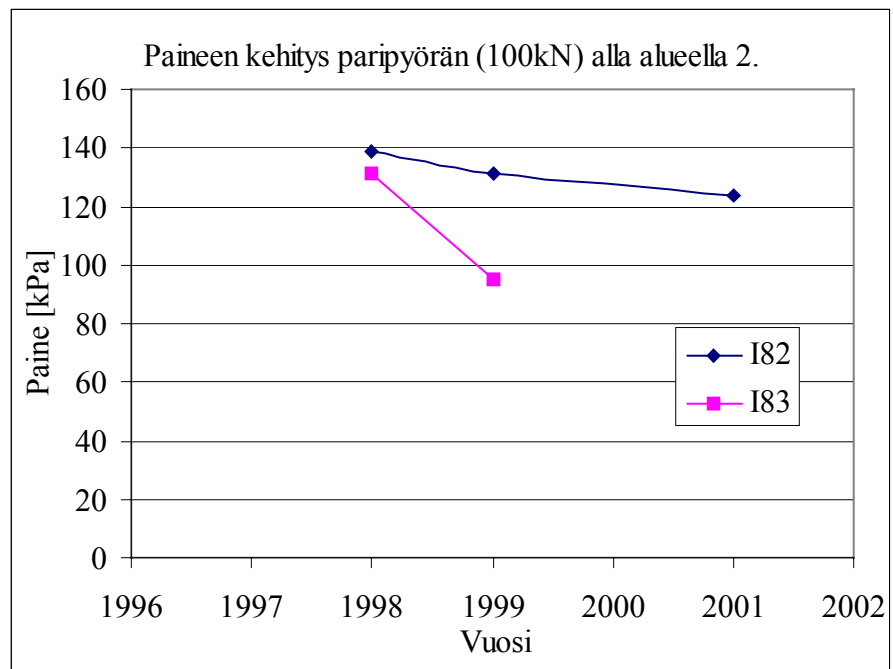
Figure 30. Stress in subbase due to wide base tyre.

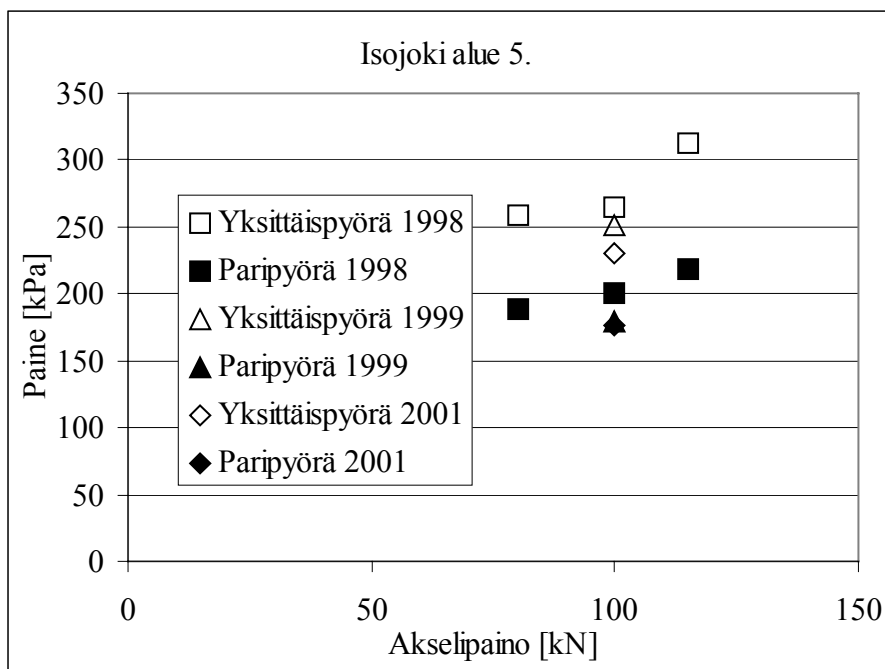
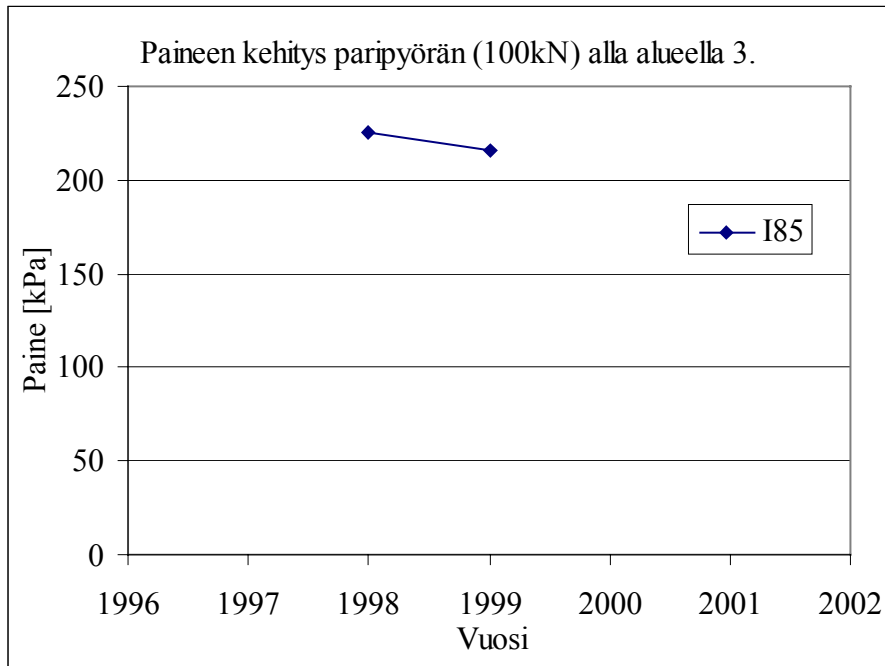


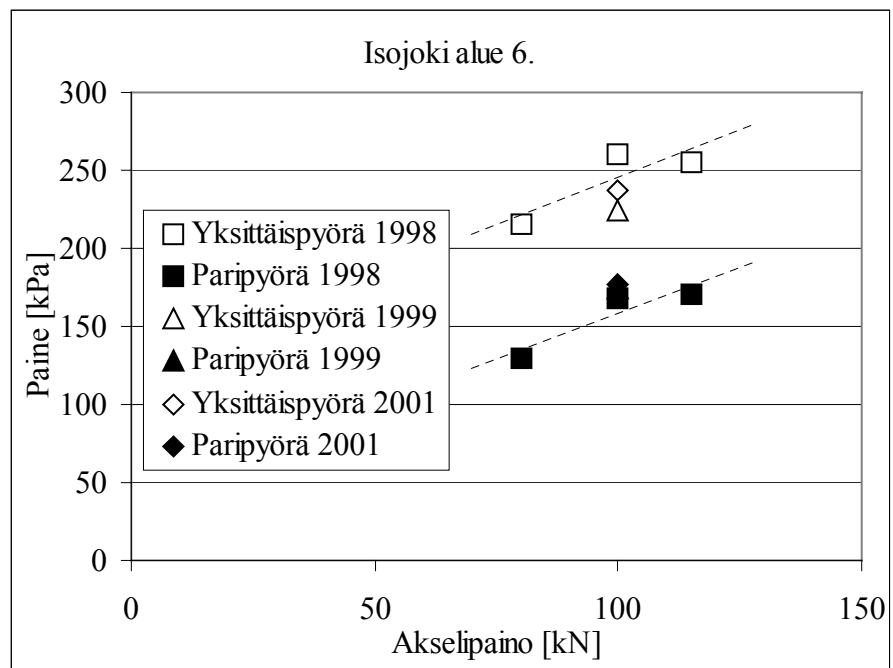
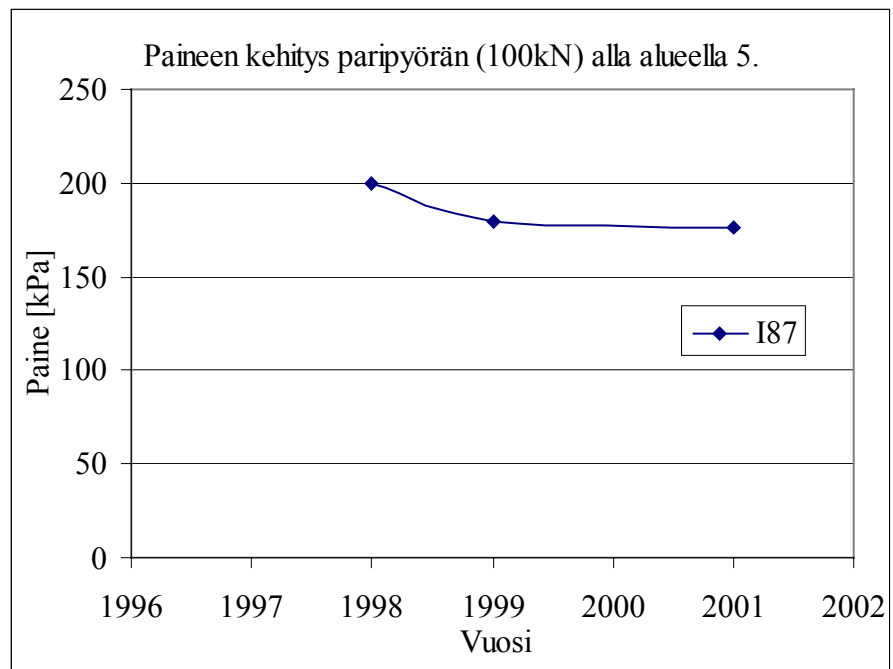
Kuva 31. Paripyörän aiheuttama jännitys bitumistabilointikerroksen alapuolelle.

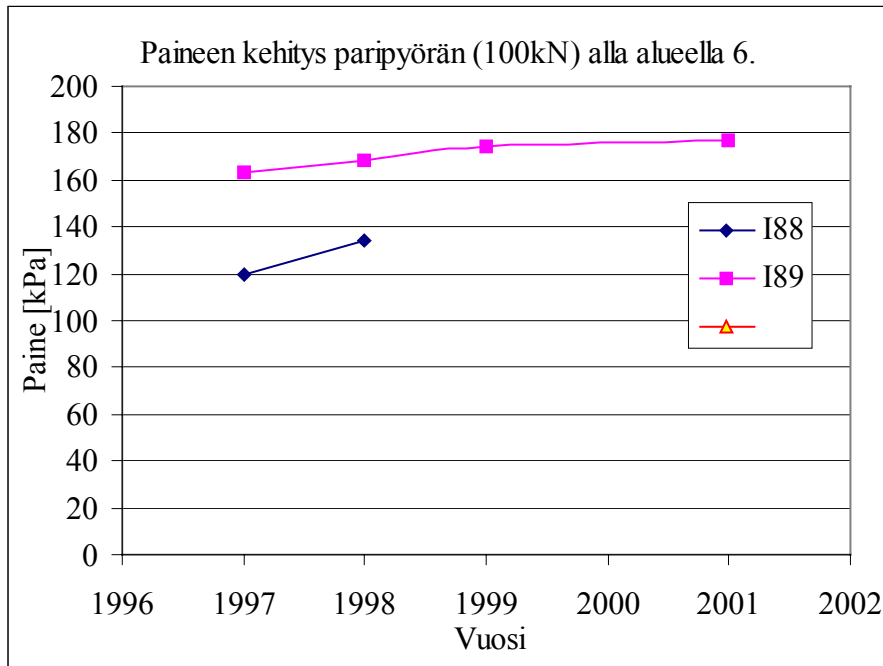
Figure 31. Stress in subbase due to dual wheel.











Kuva 32. Eri pyörätyyppien stabilointikerroksen (180 mm) alapuolelle aiheuttamat jännitykset kolmella eri akselipainolla.

Figure 32. Stress in subbase (bitumen stabilization 180 mm) due to different wheels and wheel loads.

Kuva 33. Eri pyörätyyppien stabilointikerroksen (140 mm) alapuolelle aiheuttamat jännitykset kolmella eri akselipainolla.

Figure 33. Stress in subbase (bitumen stabilization 140 mm) due to different wheels and wheel loads.

Kuva 34. Eri pyörätyyppien stabilointikerroksen (100 mm) alapuolelle aiheuttamat jännitykset kolmella eri akselipainolla.

Figure 34. Stress in subbase (bitumen stabilization 100 mm) due to different wheels and wheel loads.

5.4 Vauriokartoitus

Koeosuudella 6, jolla teräsverkon avulla pyrittiin estämään routavaurioita, on tehty vaaitusmittauksia 24.10.1997, 27.10.1997 ja 20.4.1998. Koeosuudelta mitattiin tien keskilinja 5 m välein ja tien poikkileikkaus 50 m välein. Tien keskilinjan vaaitustulokset on esitetty liitteessä 17 ja poikkiprofiilien tulokset liitteessä 18. Koeosuuksilta on lisäksi tehty vauriokartoitukset. Kartoituksen 8.4.1998 mukaiset vauriot ensimmäisen talven jälkeen on esitetty taulukossa 8.

Seurannan lopussa vuonna 2001 tehtiin vauriokartoitus. Koeosuuksilla on vaurioita melko vähän ja tie on pääsääntöisesti hyvässä kunnossa. Liitteessä 19 on esitetty vauriot viimeisimmän kartoituksen mukaan.

Taulukko 8. Koeosuuksien vauriot 8.4.1998.

Table 8. Deterioration of test sections 8.4.1998.

Paaluväli	Vaurioluokka	Sijainti	Pituus, m	Leveys, mm	Huom.
Koeosuus 1					Tieosa 03
971 – 1026.5	pih2	kl.	55.5	7 – 12	“
997	poh1	koko tie		3 – 5	“
1027.5 – 1032	pih1	vas. 1.5 m	4.5	3 – 5	“
1032 – 1041	pih1	vas. 1.0 m	9	3 – 5	“
1042 – 1054	pih1	vas. 0.4 m	12	1 – 3	“
1055 – 1062.5	pih1	vas. 0.5 m	7.5	1 – 3	“
1077 – 1098	pih1	kl. ja osin vas. 0.221 m		3 – 5	“
1085.5	poh1	koko tie		3 – 5	“
Koeosuus 2					
1110 – 1122	pih1	kl. ja osin vas. 0.312 m		1 – 3	“
1359	poh1	koko tie		3 – 5	“
Koeosuus 3					
1417	poh2	koko tie		10	“
1414 – 1417	pih1	vas. reuna	3	3 – 5	“
1462	poh1	koko tie		3 – 5	“
1475	poh1	koko tie		3 – 5	“
1531	poh1	oikea kaista		3 – 5	“
Koeosuus 4					
2045	poh1	koko tie		1 – 3	“
2053 – 2074	pih1	kl. ja osin oik. 0.221 m		1 – 3	“
2075 – 2092	pih1	oik. 1.0 m	17	3 – 5	“
2110 – 2150	pih1	vas. 1.0 – 1.5 m	40	1 – 5	“
2115	poh1	koko tie		1 – 3	“
Koeosuus 5					
2365	poh1	koko tie		1 – 3	“
Koeosuus 6					
15941	poh1	vas. kaista + 1.5 m oik.		3 – 5	Tieosa 05
15931 – 15952	pih1	oik. reuna	21	3 – 5	“
16024	poh1	koko tie		3 – 5	“
16058 – 16060	pih1	oik. reuna	2	3 – 5	“

6. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Isojoella toteutettiin kesällä 1997 bitumistabilointikokeilu osana laajempaa rakenteen perusparannusurakkaa. Kohteena oli Mt 661, jolla oli sekä puutteellisesta kantavuudesta että routimisesta aiheutuneita vaurioita. Perusparannus tehtiin paikallasekoituksena stabiloimalla rakenne bitumilla. Koeosuuksia rakennettiin yhteensä kuusi. Stabilointi tehtiin joko kokonaan perusparannuksen yhteydessä lisätyllä murskeella tai se ulotettiin vanhaan öljysorapäälysteeseen ja kantavan kerroksen materiaaliin asti.

Tutkimuksen tavoitteena oli

- selvittää bitumistabilointiin liittyviä materiaali- ja työtekniisiä seikkoja ja niiden vaikutusta etenkin stabiloidun materiaalin homogeenisuuteen
- saada uutta tietoa
 - a) bitumistabiloinnin vaikutuksesta kuormituskestävyyteen
 - b) bitumistabiloinnin pitkäaikaiskestävyydestä stabiloidun rakenteen mitoituksen kehittämiseksi.

Koerakentaminen tehtiin elokuussa kesäisessä kuivassa säässä. Koerakentamisen yhteydessä koeosuudet instrumentoitiin rakenteen pitkäaikaiskäyttämisen seuraamiseksi ja stabiloidun rakenteen vaurioitumismekanismin selvittämiseksi.

Työnaikaiseen laadunvalvontaan kuului sideaine- ja vesipitoisuuksien tutkiminen massanäytteistä sekä tiivistymistarkkailu. Kenttälaboratorion tekemät selvitykset osoittivat, että

- vaahdotettu bitumi jakautui stabiloitavaan materiaaliin tasaisemmin kuin emulgoitu bitumi
- kiviaineksen kosteudella ei ole vaikutusta sideaineen levittymiseen, kun vesipitoisuus on 2 - 4 %
- pientareen reunalla sideainepitoisuudet jäivät kaikilla koeosuuksilla tavoitearvoa alemmiksi. Tämä on lopputuloksen kannalta haitallista, koska kantavuuspuute on pahin yleensä juuri pientareen läheisyydessä
- kaikilla käytetyillä materiaaleilla ja työtekniikoilla stabiloidun materiaalin tiivistyminen oli samanlaista.

Tutkimuksia täydennettiin jälkikäteen koekohteista otetuista massanäytteistä tehdyillä laboratoriokokeilla, joilla tutkittiin eri koeosuuksien stabilointien koossapysyvyyttä. Näytteet valmistettiin kiertotiivistimellä. Ehjien näytteiden valmistaminen oli vaikeaa. Halkaisuvetolujuudet osoittivat, että tiiviysasteella on ratkaiseva merkitys stabiloinnin koossapysyvyyden kannalta. Koekappaleiden lujuudet olivat sitä suurempia, mitä pienempi näytteen tyhjätila oli. Riittävään tiivistämiseen on stabilointitöissä siten syytä kiinnittää huomiota. Sideaineen jäykkyydellä ei sen sijaan ollut merkitystä koossapysyvyyden kannalta.

Koerakenteiden pitkäaikaiskestävyyttä selvitettiin vuosittain tehtävillä mitauksilla, joihin kuuluivat tierakenteen vastemittausten lisäksi kantavuusmittaus, palvelutasomittaus ja silmämääräinen vauriokartoitus.

7. LIITTEET

- Liite 1. Vanhan tierungon kantavan kerroksen rakeisuus ja vesipitoisuus
- Liite 2. Lisättävän murskeen rakeisuus ja vesipitoisuus
- Liite 3. Öljysoran rakeisuus ja rakeisuuden hajonta kolmen näytteen perusteella
- Liite 4. Ennen perusparannusta määritetty vauriojakauma tieosalla 3
- Liite 5. Stabiloinneista määritetyt kiviaineksen rakeisuudet ja rakeisuuden hajonta viiden näytteen perusteella
- Liite 6. Loadman kantavuusmittaukset
- Liite 7. Pudotuspainomittaukset
- Liite 8. IRI-arvot lukuarvoina
- Liite 9. IRI-arvot koeosuuksittain kuvina
- Liite 10. IRI4-arvot lukuarvoina
- Liite 11. Pituusprofiilit koeosuuksittain
- Liite 12. Megakarkeudet koeosuuksittain
- Liite 13. Makrokarkeudet koeosuuksittain
- Liite 14. Megakarkeudet lukuarvoina
- Liite 15. Makrokarkeudet lukuarvoina
- Liite 16. Sivukaltevuudet koeosuuksittain
- Liite 17. Koeosuuden 6 keskilinjaan vaaitustulokset
- Liite 18. Koeosuuden 6 poikkiprofiilin vaaitustulokset
- Liite 19. Vauriokartoitus

