



Tielaitos

Seppo Saarelainen

Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantamismenetelmiä

Bitumistabilointi ja raudoitettu murske. Loppuraportti

**Tielaitoksen
sisäisiä
julkaisuja**

6/1999

Kuopio 1999

TIEHALLINTO
Savo-Karjalan tiepiiri
Tie- ja
liikennetekniikka

Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja
6/1999

Seppo Saarelainen

Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantamismenetelmiä

Bitumistabilointi ja raudoitettu murske. Loppuraportti

Tielaitos
TIEHALLINTO
Savo-Karjalan tiepiiri

Kuopio 1999

TIEL 4000200

Oy Edita Ab
Helsinki 1999

Julkaisua myy:
Tielaitos, kirjasto
Telefax 0204 44 2652



Tielaitos
TIEHALLINTO
Savo-Karjalan tiepiiri
Kirkkokatu 1
PL 1117
70101 KUOPIO
Puh.vaihde 0204 44 155

Tie- ja liikennetekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh.vaihde 0204 44 150

Aiheluokka 70

Avainsanat soratie, kelirikko, kantavuus, bitumistabilointi, raudoitus

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten kelirikon vaivaaman soratien kantavuutta voidaan parantaa kelirikon aikaista liikennettä varten. Tutkimuksessa käytetyt parantamismenetelmät olivat toisaalta rakenteen lujittaminen rakenteen yläosan bitumistabiloinnilla ja lujittaminen tien pinnalle tehdyn, raudoitettun murskekerroksen avulla. Kumpikaan parantamismenetelmä ei juurikaan muuta tien routasuojausta. Koerakentamiskohteeksi valittiin Savo-Karjalan tiepiirin Leppävirran tiemestaripiirin maantieltä 5341 osuuksia, jotka aiemmin oli tienpidossa todettu kelirikko-osuuksiksi. Rakenteen routaantumis- ja routanousuarvio laadittiin koeosuuksittain, samoin sulamisarvio. Tien pinnan kantavuuden kausivaihtelua arvioitiin mitatun kantavuuden, pohjamaan kantavuusvaihtelun ja uuden rakenteen ominaisuuksien pohjalta.

Koerakentaminen tehtiin lokakuussa 1996. Koerakentamisen jälkeen tehtiin tien pinnan tasaisuusmittaus (Roadman-IRI) sekä tien kantavuusmittaus ja pintavaaitus.

Talvella 1996-97 ja 1997-98 seurattiin mittauksin rakenteen routaantumista ja tien pinnan routanousua. Keväisin mitattiin rakenteen sulamista ja kantavuutta sekä tasaisuutta. Tuloksia kuvattiin seurantamittausraportissa 1997. Tulosten perusteella arvioitiin rakenteiden toiminta, ja todettiin, että bitumistabilointi ja raudoitettu murske lisäävät merkittävästi soratien kantavuutta kelirikkoaikana. Bitumistabiloinnin (200 mm vanhan tien pintaosassa) materiaalimoduuliksi arvioitiin kantavuusmittauksista arvo noin 300-500 MPa. Raudoitettun murskekerroksen (200 mm) ekvivalentti-moduuliksi arvioitiin näissä kohteissa vastaavasti noin 300-500 MPa.

Koeosuuksien routanousu oli suuruudeltaan ja vaihtelultaan edellistä talvea vastaava. Epätasaisuuden kasvu roudan vaikutuksesta oli koeosuuksilla yhtenäinen ja suurempi kuin edellisenä talvena. Kantavuuden kehittyminen sulamiskaudella oli selkeä, ja minimikantavuus ajoittui kesäkuun alkuun, sulamisen loppuvaiheeseen. Sulaminen toteutui kalenteriajassa samalla tavalla kuin edellisenä keväänä. Sulamispainuma kehittyi sulamisen myötä, ja sulamispainumasta tapahtui 10-40 % sulamisen päätyttyä, noin 1-3 viikon kuluessa.

Vertailurakenteisiin verrattuna bitumistabiloidun rakenteen kantavuus oli samaa luokkaa, mutta raudoitettun rakenteen kantavuus suurempi. Raudoitettu murskekerros oli rakentamiskustannuksiltaan noin 20 % kalliimpi kuin bitumistabilointi.

ABSTRACT

The main emphasis in this study was to investigate, how to improve the bearing capacity of a gravel road for traffic in the period of thaw-weakening. The improvement methods included in this study were the strengthening of the pavement using bitumen-stabilization of the top layer of the old road, and using a reinforced crusher-run layer on the top of the road. Either of treatments did not affect on the frost protection. The test construction was carried out on selected stretches of a local road, Mt 5341 in the Savo-Karjala road district, Leppävirta maintenance area. The sites had earlier suffered from thaw-weakening problems in the routine maintenance. The frost penetration, frost heaving as well as thaw penetration were pre-estimated for the test structures. The seasonal variation of surface modulus was estimated using pavement characteristics back-calculated from FWD-tests, assumed seasonal variation of subgrade modulus, and the characteristics of the new structure.

Test construction was carried out in October 1996. After construction, the roughness measurement (Roadman-IRI), FWD testing and surface levelling of the pavement surface were carried out.

During the winter of 1996-97, frost penetration and frost heaving were monitored. During and after the thaw period of 1997, thaw penetration, thaw settlement, pavement response and roughness were monitored. The behaviour of the test structures were evaluated on the basis of observations. Bitumen stabilization and reinforced crusher-run layers were found to significantly increase the surface response of the gravel road during thaw. The estimated material modulus of the 200 mm thick layer at the top of the road was according to FWD-measurements about 300-500 MPa. The equivalent material modulus of the reinforced, 200 mm thick layer of crusher-run, was about 300-500 MPa, correspondingly.

During the season 1997-98, the monitoring was repeated. The frost penetration and frost heaving were in absolute values and variation comparable to those of the previous winter. The increase of roughness due to frost heaving was consistent between the test sections, and slightly greater than that of the previous winter. The development of pavement response was distinct during the thaw period, and the minimum values were dated at early June the ending of thaw penetration. The thaw penetration proceeded in the calendar-time in the same way than in the previous spring. Thaw settlement was developed along with thaw penetration, and about 10-40% of the settlement occurred after the end of thaw, within 1-3 weeks.

Compared to the reference sections, the surface response of the bitumen-stabilized section was in the same order of magnitude, as to the response of the reinforced crusher-run section was greater.

ALKUSANAT

Soratiestön runkokelirikkoa koskevissa tutkimuksissa pyritään selvittämään kelirikon esiintymistä, luonnetta ja korjausmenetelmiä. Tielaitos päätti tämän tutkimuksen aikana käynnistää selvityksen siitä, millä toimenpiteillä runkokelirikon haitat voidaan poistaa, missä laajuudessa haitat tulee poistaa ja miten paljon se tulee maksamaan. Tämän lisäksi Tielaitoksen tuotannolla oli käynnissä hanke, jossa etsittiin vaihtoehtoisia korjausmenetelmiä kelirikko- vaurio-kohtien korjaamiseksi.

Tämä tutkimusraportti on "Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantaminen" -tutkimuksen loppuraportti. Tutkimus käynnistyi vuonna 1996, jolloin myös koerakenteet toteutettiin. Kohteiden seurantamittauksia on raportoitu monisteina kolmeen otteeseen.

Tämä tutkimus käynnistettiin Savo-Karjalan tiejohtajan *Matti Tuiremon* aloitteesta. Tielaitoksen Itä-Suomen tuotantoalueelta tutkimukseen osallistuivat päällystys-yksikön vetäjä, päällysteinsinööri *Raimo Ledentsä*, joka toimi myös työryhmän puheenjohtajana, geoinsinööri *Pekka Turunen* sekä rakennusmestari *Petri Kettunen*, joka vastasi koerakenteiden toteuttamisesta. Päättökijana toimi VTT Yhdyskuntatekniikasta erikoistutkija *Seppo Saarelainen*, joka laati tämän tutkimusraportin. Tilaajan edustajana työryhmässä toimi kunnossapitoinsinööri *Asko Pöyhönen*.

Kuopiossa 30.11.1998

Savo-Karjalan tiepiiri

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	11
2	LÄHTÖTILANNE, OLOSUHTEET	13
2.1	Tavoitteet	13
2.2	Kohteen nykytila	13
2.2.1	Kohteiden valinta	13
2.3	Ilmasto-olosuhteet koealueella	16
2.4	Maastokuvaus	16
2.5	Vanhan rakenteen tutkimukset	18
2.5.1	Tehdyt tutkimukset	18
2.5.2	Pohjamaa	18
2.5.3	Vanha rakenne	19
2.5.4	Pinnan kantavuus koeosuuksilla	20
3	MATERIAALITUTKIMUKSET	22
3.1	Savisoran suhteitus	22
3.1.1	Tavoite	22
3.1.2	Materiaalit	22
3.1.3	Tutkimukset	22
3.1.4	Suhteitus	22
3.1.5	Kantavuusvaikutus	23
3.2	Bitumistabiloinnin suhteitus	23
3.2.1	Tavoite	23
3.2.2	Materiaalit	23
3.2.3	Tutkimukset	23
4	TOTEUTETUT KOERAKENTEET	25
4.1	Bitumistabilointi 1 (Urimo)	25
4.1.1	Pohjasuhteet	25
4.1.2	Toteutus	25
4.1.3	Tekniikan soveltuvuus	25
4.1.4	Menetelmän soveltuvuus	26
4.1.5	Laatumittaukset	26
4.1.6	Routakäyttötymisen arviointi	27
4.1.7	Kantavuustarkastelu	28
4.1.7.1	Vanhan rakenteen kantavuus	28
4.1.7.2	Uuden rakenteen kantavuus	28
4.1.7.3	Kausittainen kantavuusarvio	29
4.2	Bitumistabilointi 2 (Majoo)	30
4.2.1	Pohjasuhteet	30
4.2.2	Toteutus	31
4.2.3	Tekniikan soveltuvuus	31
4.2.4	Menetelmän soveltuvuus	31
4.2.5	Laatumittaukset	32
4.2.6	Routakäyttötymisen arviointi	33

4.2.7	Kantavuustarkastelu	33
4.2.7.1	Vanhan rakenteen kantavuus	33
4.2.7.2	Uuden rakenteen kantavuus	34
4.2.7.3	Kausittainen kantavuusarvio	35
4.3	Raudoitettu murske 1 (Urimo)	36
4.3.1	Toimintatapa ja mitoitus	36
4.3.2	Pohjasuhteet	36
4.3.3	Toteutus	36
4.3.4	Tekniikan soveltuvuus	36
4.3.5	Menetelmän soveltuvuus	36
4.3.6	Laatumittaukset	37
4.3.7	Routakäyttötymisen arviointi	37
4.3.8	Kantavuustarkastelu	37
4.3.8.1	Vanhan rakenteen kantavuus	37
4.3.8.2	Uuden rakenteen kantavuus	38
4.3.8.3	Kausittainen kantavuusarvio	39
4.4	Raudoitettu murske 2 (Majoo)	40
4.4.1	Pohjasuhteet	40
4.4.2	Toteutus	40
4.4.3	Laatumittaukset	40
4.4.4	Routakäyttötymisen arviointi	40
4.4.5	Kantavuustarkastelu	40
4.4.5.1	Vanhan rakenteen kantavuus	40
4.4.5.2	Uuden rakenteen kantavuus	41
4.4.5.3	Kausittainen kantavuusarvio	42
4.5	Vertailuosuus 1 (Urimo)	43
4.5.1	Pohjasuhteet ja rakenne	43
4.5.2	Routakäyttötymisen arviointi	43
4.5.3	Rakenteen kantavuus	43
4.5.3.1	Vanhan rakenteen kantavuus	43
4.5.3.2	Kausittainen kantavuusarvio	44
4.6	Vertailuosuus 2 (Majoo)	45
4.6.1	Pohjasuhteet ja rakenne	45
4.6.2	Routakäyttötymisen arviointi	46
4.6.3	Rakenteen kantavuus	46
4.6.3.1	Vanhan rakenteen kantavuus	46
4.6.3.2	Kausittainen kantavuusarvio	47
4.7	Routanousu- ja sulamisarvio	47
4.7.1	Johdanto	47
4.7.2	Ilmasto-olosuhteet koalueella	48
4.7.3	Koerakenteiden routaantuminen ja routiminen	48
4.7.3.1	Vertailurakenne	48
4.7.3.2	Raudoitus 1	49
4.7.3.3	Bitumistabilointi 1	50
4.7.4	Sulaminen ja kelirikon kesto	51
5	SEURANTAMITTAUKSET	53
5.1	Seurantamittausohjelma	53
5.2	Alkumittaukset rakentamisen jälkeen	53

5.3	Havaintotalvet	53
5.4	Routahavainnot	55
5.4.1	Roudan ja sulamisen syvyys, routanousu ja sulamispainuma havaintopisteissä	55
5.4.2	Tien pinnan routanousu	57
5.4.3	Routanousuprofiilien vertailu	63
5.4.4	Sulamishavainnot	65
5.5	Kantavuusmittaukset	66
5.5.1	Kesä- ja kevätkantavuus	66
5.5.2	Kantavuus kelirikkoaikana	69
5.5.3	Kantavuuden muuttuminen vv. 1996-98	73
5.5.4	Routanousu - kevätkantavuus	74
5.6	Tasaisuus	76
6	TULOSTENTARKASTELU JA ANALYSOINTI	79
6.1	Bitumistabilointi	79
6.1.1	Routanousu	79
6.1.2	Kelirikkotilanne	79
6.1.3	Kantavuus	79
6.1.4	Tasaisuus	80
6.1.5	Vauriot	80
6.2	Raudoitettu murskerakenne	81
6.2.1	Routanousu	81
6.2.2	Kantavuus	81
6.2.3	Tasaisuus	82
6.2.4	Vauriot	82
6.3	Vertailurakenteet	82
6.3.1	Routanousu	82
6.3.2	Kantavuus	83
6.3.3	Tasaisuus	83
7	KOERAKENTEIDEN KUSTANNUKSET	84
7.1	Raudoiterakenne	84
7.2	Bitumistabilointi	84
7.3	Vertailurakenteet	84
7.4	Normaalirakenne	84
8	RAKENTEIDEN TOIMINNAN ARVIOINTI	85
8.1	Routamitoitus	85
8.2	Kantavuusmitoitus	86
8.3	Käytettyjen parantamismenetelmien parametrit	86
8.3.1	Tarkastelutapa	86
8.3.2	Bitumistabiloidun kerroksen materiaalimoduuli	87
8.3.3	Raudoitettun murskekerroksen materiaalimoduuli	88
9	RAKENTEIDEN TEKNISTALOUDELLINEN KÄYTTÖKELPOISUUSARVIO	89
9.1	Arviointiperusteet	89
9.2	Toteutettavuus	89
9.3	Kantavuuden paraneminen	89

9.4 Toiminnalliset ominaisuudet	89
9.5 Kustannusvertailu	90
10 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET	91
11 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET	93
12 KIRJALLISUUTTA	94

1 JOHDANTO

Soratiet ovat kevyesti rakennettuja teitä. Tielaitoksen soratieverkossa, jota on noin 30000 km, on arvioitu kelirikkoriskin alaisia tieosuuksia olevan noin puolet, ja vuosittain noin kolmannes, 5000 km tästä pituudesta on painorajoituksen alaisena.

Kantavuuden aleneminen keväällä johtuu joko rakenteen tai pohjamaan tai molempien routimisesta. Pintakelirikossa rakenne pehmenee, kun rakenne on tehty routivista materiaaleista, jotka jäätyessään routivat ja sulaessaan voimakkaasti pehmenevät. Runkokelirikossa alusrakenne pehmenee, eikä rakenteen kantavuus ole liikennesäätösäilytyksen huomioonottaen riittävä.

Kevätkantavuutta voidaan parantaa joko rakennetta vahvistamalla, routimista rajoittamalla ja/tai maapohjan sulamisominaisuuksia muuttamalla.

Kestopäälysteisellä tiellä muodostuu routanousu määrääväksi, jolloin routivan alusrakenteen routiminen on rajoitettava. Tästä seuraa myös alusrakenteen kevätkantavuuden paraneminen ja lyhyempi sulamisaika. Sorateillä, missä päällyste ei aiheuta tiukkaa rajoitusta routanousun suhteen, alusrakenne saa routaantua syvälle, josta seuraa pitkä kelirikko-aika. Soratien rakenteet ovat vastaavasti myös vähäisemmät, jolloin pohjamaan pehmeneminen vaikuttaa voimakkaammin kantavuuteen. Eräiden lähteiden mukaan (mm. Ehrola 1991, Onninen & Saarelainen 1997) on tien kevätkantavuuden ja vaurioitumisen mukaan seuraavia vuorosuhteita:

Pinnan kantavuus	Vaurioituminen
- $E_2 < 50$ MPa	Voimakas kelirikko
- $E_2 50...70$ MPa	Merkittävää urautumista
- $E_2 > 80$ MPa	Ei merkittävää vaurioitumista

Tien vaurioituminen kelirikkoajana riippuu myös liikennesäätösäilytyksen määrästä ja laadusta. Voidaan otaksua, että pinnan kantavuustaso määrää sen liikennesäätösäilytyksen, joka aiheuttaa pinnassa tietyn suuruisen urautumisen. Liikennesäätösäilytyksen määrä riippuu paitsi tien liikenteellisestä luonteesta myös siinä vallitsevan kelirikkoajan pituudesta.

Routivalla soratiellä, jossa routanousu voi olla leutonakin talvena merkittävä, ei voida käyttää sidottuja päällysteitä, jotka taivutuksessa halkeavat. Tällaisilla teillä käytetään sitomattomia pintamateriaaleja, jotka ovat perinteisesti olleet savisoraa tai viime aikoina moreenimurskeita. Niille on ominaista muokattavuus ja uudelleentasattavuus, mikä sallii suuria routaepätasaisuuksia talviaikana. Näillä on ongelmana kuluminen ja pölyäminen kesällä. Kulumisesta aiheutuu epätasaisuutta ja pinnan purkautumista, mikä aiheuttaa pinnan hoitotarpeen useita kertoja kesässä. Pölyämisestä on pyritty rajoittamaan suolalla tai bitumiemulsiolla. Myös moreenimurskettä on käytetty soratien pinnoitteena varsinkin 1980-luvulta alkaen. Perinteellisen savisoran käyttö on ollut huomattavan vähäistä.

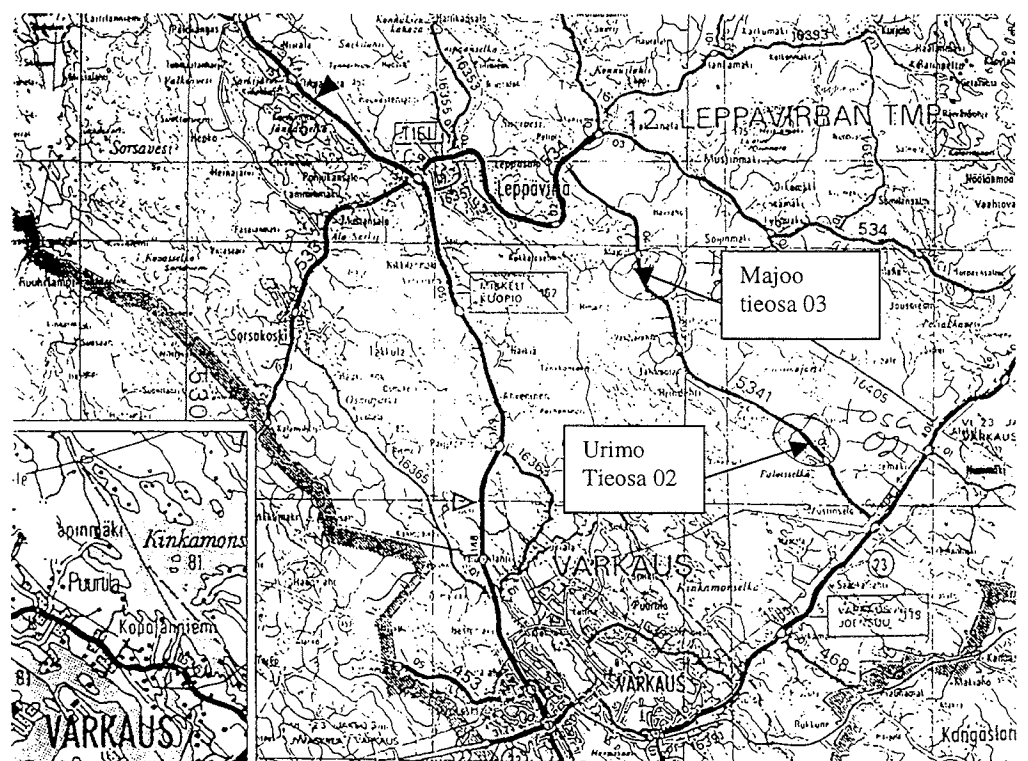
Savo-Karjalan tiepiiri päätti kokeilla elokuussa 1996 kahta sorateiden kunnostamiseen soveltuvaa kevätkantavuuden parantamismenetelmää, rakenteen yläosan bitumistabilointia ja rakenteen jäykistämistä raudoitettulla murskekerroksella.

2 LÄHTÖTILANNE, OLOSUHTEET

2.1 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten tehty ja minkä paksuinen bitumi-stabiloitu kerros tai raudoitettu murskekerros tuottaa riittävän kantavuuden soratielle kelirikkoikaan. Samalla määritettiin savisoran materiaalisuhteitus koekohteen lähistöltä saatavissa olleilla raaka-aineilla hyvän rakennustavan ja suunnitteluohjeiden mukaiseksi.

Tutkimuskohde sijaitsi Leppävirran kunnassa, maantiellä 5341 välillä Mus-tinsalo Sarkalahti.



Kuva 1. Kohteen sijainti.

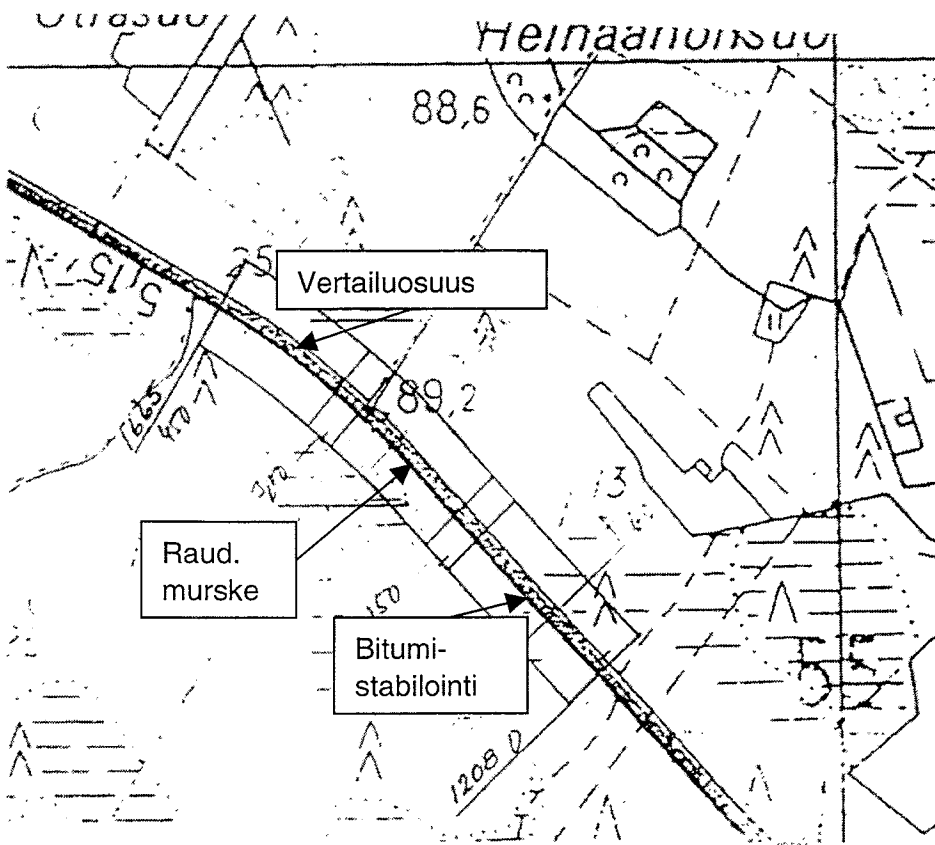
2.2 Kohteen nykytila

2.2.1 Kohteiden valinta

Tieosan alustava inventointi tehtiin heinäkuussa 1996 Savo-Karjalan tiepiirin toimesta. Inventoinnissa kirjattiin tiemestarin kokemuksiin nojautuen, että tieosalla oli havaittu seuraavia ongelmia:

- kulutuskerros oli paikoin irtonainen ja kuluva
- tiellä havaittiin sulamisvaiheessa pintakelirikkoa
- tien routaepätasaisuudet routanoususta johtuen olivat huomattavia
- pohjavesi oli paikoin korkealla ja tien kuivatus puutteellinen
- tien rungossa oli käytetty routivia materiaaleja

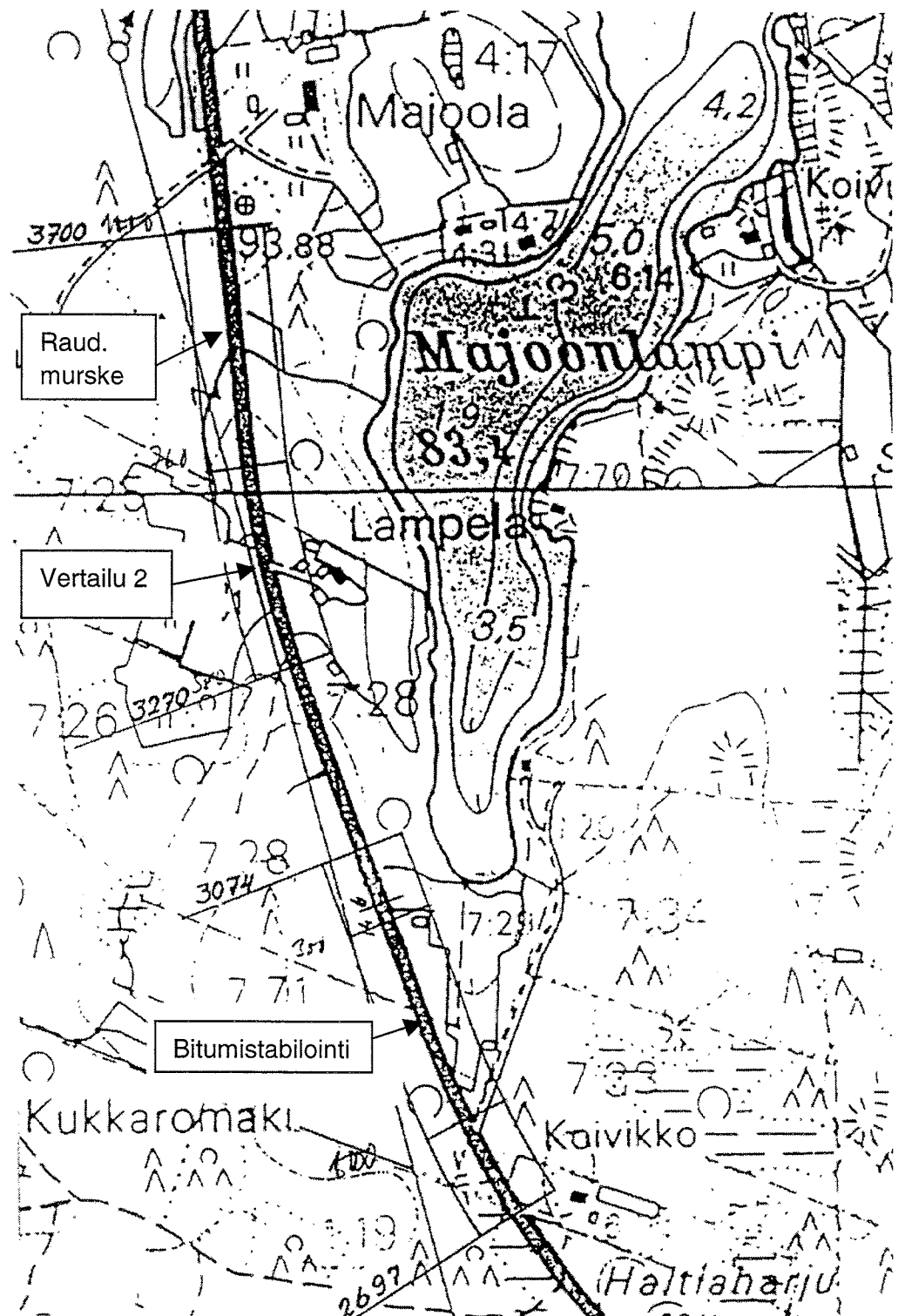
Koeosuusiksi valittiin tien Mt 5341 välillä Mustinsalo-Sarkalahti tieosan 2 plv. 1208-1665 Urimossa ja tieosan 3 plv. 2697-3700. Molemmille osuuksille päätettiin tehdä koerakenteet, joissa käytetään bitumistabilointia ja raudoitettua murskekerrosta. Koerakenteet samoin kuin vierellä olevat vertailurakenteet päätettiin päällystää savisoralla, joka suhteitetaan ja tehdään paikallisista materiaaleista tavanomaisin menetelmin. Koerakenteet sijoitettiin taulukon 1 ja kuvien 2 ja 3 esittämille tiesuoksille.



Kuva 2. Urimo, kartta.

Taulukko 1. Koerakenteiden sijoittuminen tieosille.

Koeosuus	Koerakenne	tien paaluväli	Paikallinen paaluväli
Tieosa 02 Urimo	Bitumistabilointi 1	1208-1358	0-150
	Rauditus 1	1388-1508	180-300
	Vertailu 1	1548-1665	320-460
Tieosa 03 Majoo	Bitumistabilointi 2	2797-2997	100-300
	Rauditus 2	3450-3700	750-1000
	Vertailu 3	2997-3074	300-377
	Vertailu 2	3270-3450	570-750



Kuva 3. Majoo, kartta.

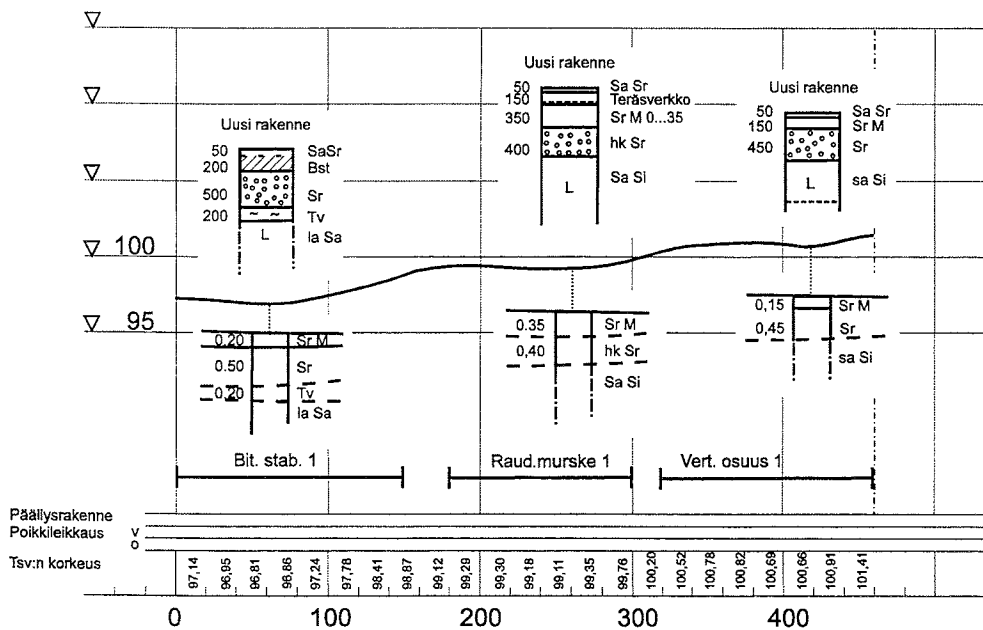
2.3 Ilmasto-olosuhteet koalueella

Ilman lämpötiloista viimeisellä ilmastokaudella 1961-1990 laskettu pakkasmäärän toistuvuus sekä ilman lämpöastesumman toistuvuus Varkauden Käpykankaan havaintopaikalla on esitetty Kohdan 4.7.2 kuvassa 29 (s.48). Keskimääräinen pakkasmäärä oli noin 25 800 Kh, kerran 10 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä noin 39 000 Kh ja kerran 10 vuodessa toistuva pienin pakkasmäärä noin 18 000 Kh.

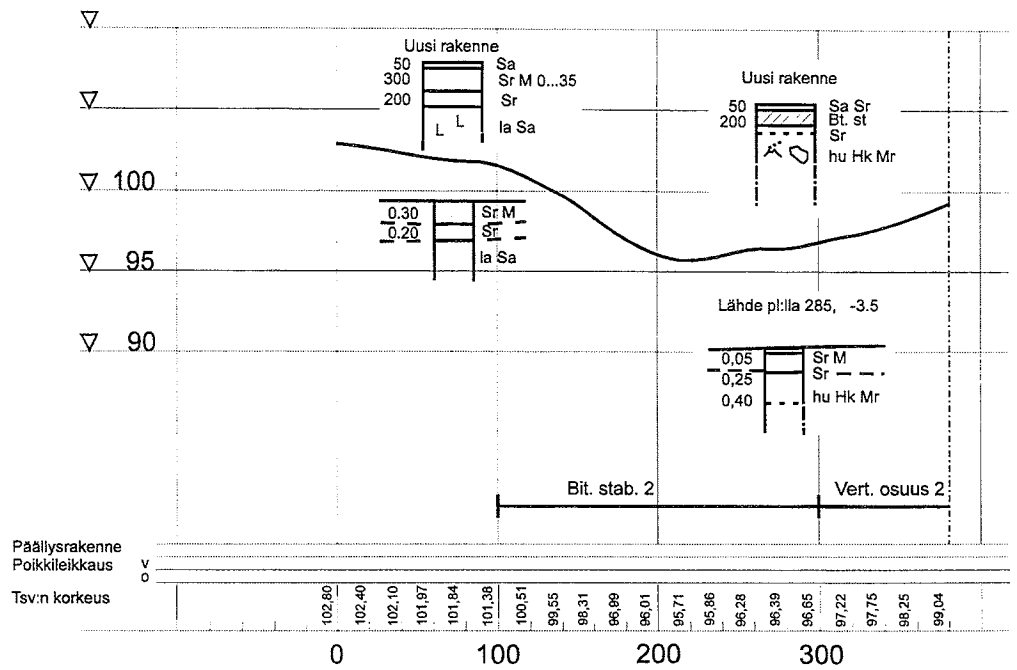
Keskimääräinen lämpöastesumma oli noin 50 000 Kh, vaihdellen kymmenen vuoden toistuvuudella arvojen 45 000 ja 55 000 Kh välissä. Vuoden keskilämpötila oli Varkaudessa noin +2,8 °C.

2.4 Maastokuvaus

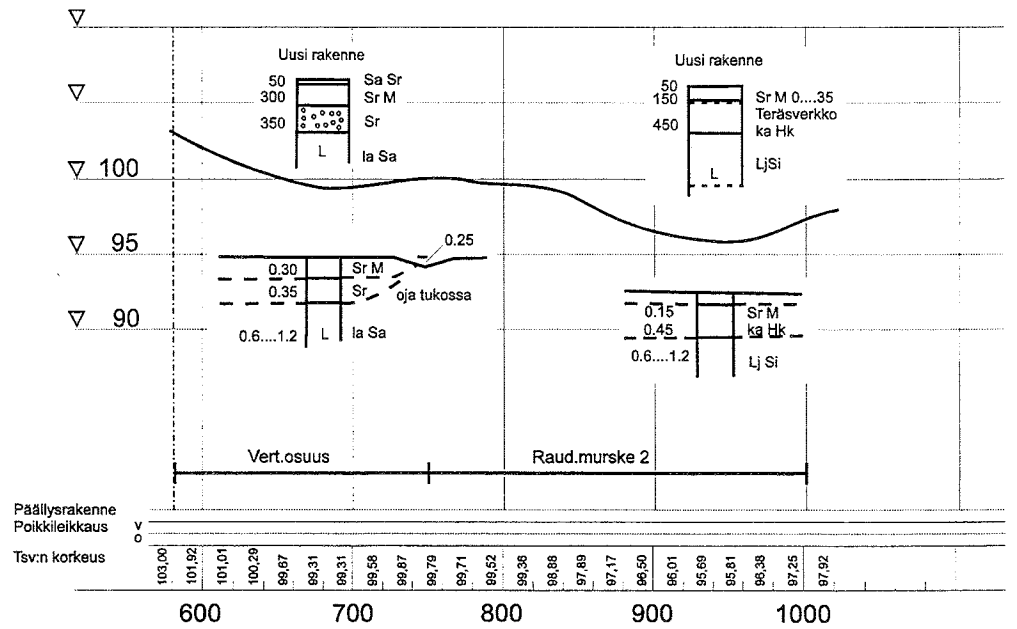
Kohteiden maastokuvaukset on esitetty liitteessä 1. Koeosuuksien pituusleikkaukset on esitetty kuvissa 4-6. Koeosuuksilla tehdyt koekuopat ja niissä havaitut kerrokset on merkitty pituusleikkauksiin.



Kuva 4. Urimo. Tien pituusleikkaus. Stabilointi 1, rauditus 1 ja vertailu 1.



Kuva 5. Majoo. Tien pituusleikkaus, stabilointi 2.



Kuva 6. Majoo. Tien pituusleikkaus, vertailu 2 ja raudoitus 2.

2.5 Vanhan rakenteen tutkimukset

2.5.1 Tehdyt tutkimukset

Koetieosat pintavaaettiin elokuussa 1996.

Maastotarkastuksen yhteydessä kohteissa todettiin kuivatuspuutteita. Sivuojoissa oli seisovaa vettä lähellä tien pintaa, mikä johtui osittain laskuojien puuttumisesta (Urimo) tai sivuojien umpeenkasvusta ja tukkeutumisesta (Urimo, Majoo)

Sen jälkeen, kun päätös bitumistabilointi- raudoitus- ja vertailuosuuksien sijainnista oli tehty, tehtiin koekuopat kullekin koeosuudelle vanhan tierakenteen ja kerrosmateriaalien laadun tutkimista ja näytteenottoa varten elokuussa 1996.

Koeosuuksilla tehtiin kantavuusmittauksia pudotuspainolaitteella elokuussa 1996.

2.5.2 Pohjamaa

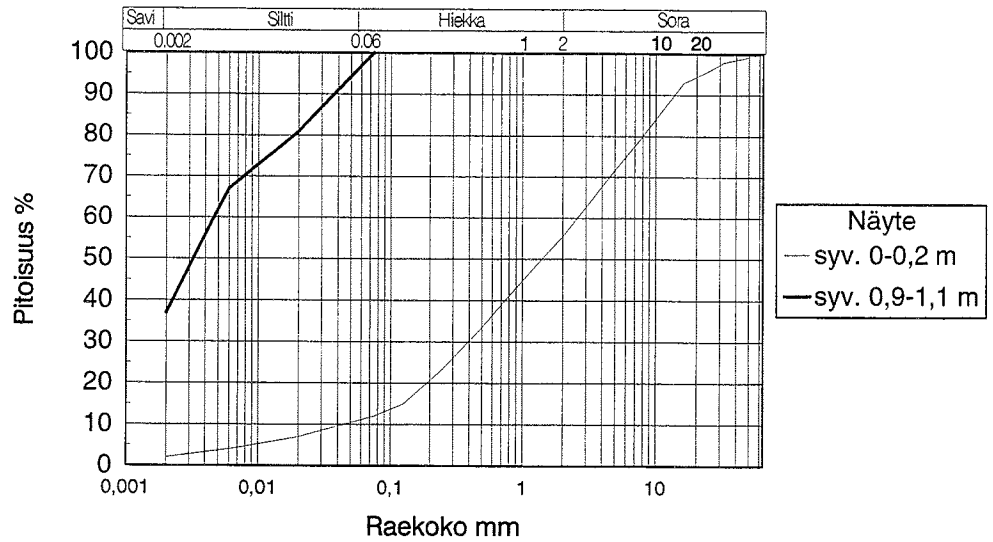
Tieosan koeosuudet sijaitsivat sellaisissa paikoissa, joissa tiemestarin havaintojen mukaan oli ilmennyt aiemmin voimakasta routimista ja kelirikkoa (liite 1).

Tie sijaitsi metsäisessä maastossa. Alavissa paikoissa oli luonnonmaastossa soistumista. Paikoin tie sijoittui sivukaltevaan rinteeseen, jossa padottuminen aiheutti pohjaveden nousua ja lähteisyyttä pohjamaan heikon läpäisevyyden vuoksi.

Pohjamaa oli notkelmissa silttiä tai silttistä savea. Rinnemaastossa pohjamaa oli moreenia, joka alueella on routivaa ja silttistä.

Urimon kohteen paalulla 60 tehdyssä pohjamaan routanousukokeessa saatiin routimiskertoimelle arvo noin 5 mm²/Kh. Näytteen savipitoisuus oli noin 37 %. Rakenteen yläosan ja pohjamaan rakeisuudet on esitetty kuvassa 8.

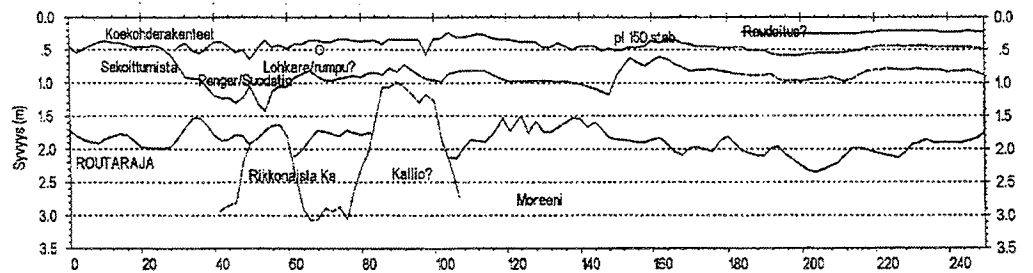
Mt 5341 Leppävirta
Urimo, pl.60



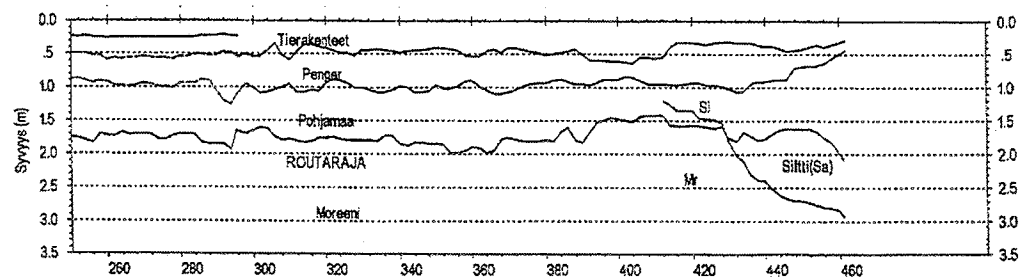
Kuva 8. Maanäytteiden tutkimustuloksia Urimon kohteen paalulla 60.

2.5.3 Vanha rakenne

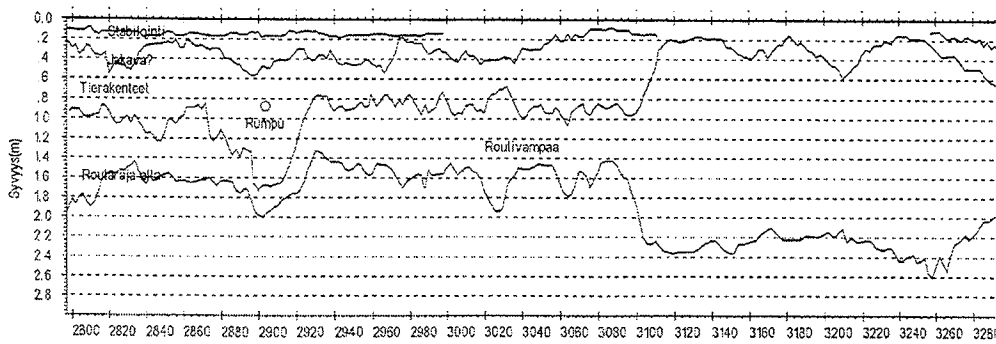
Vanhan rakenteen tasaus mitattiin vaaitsemalla. Päälysrakenteen paksuutta ja pohjamaan laatua tutkittiin ennen rakentamista koekuoppatutkimuksella ja näytteiden laboratoriomäärityksillä. Koeosuuksien rakennetta tutkittiin maatulalla huhtikuussa 1998. Urimon kerrospaksuustulkinta on esitetty kuvissa 9-10 ja Majoon tulkinta kuvissa 11-12.



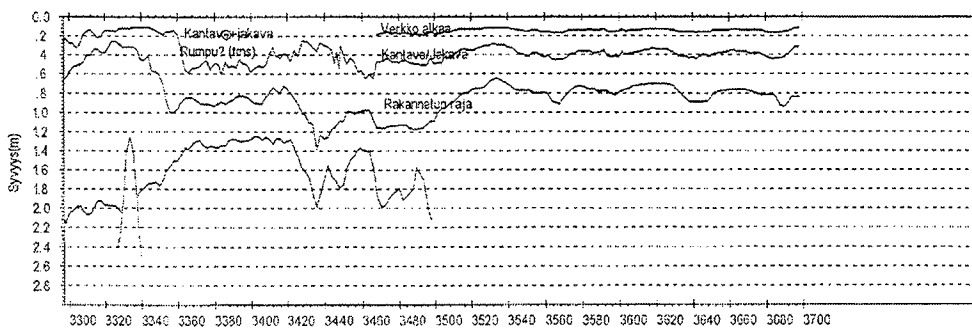
Kuva 9. Urimo, plv 0...250. Maatutkaus huhtikuussa 1998 (Roadscanners Oy).



Kuva 10. Urimo, plv.250-460. Maatutkaus huhtikuussa 1998 (Roadscanners Oy).



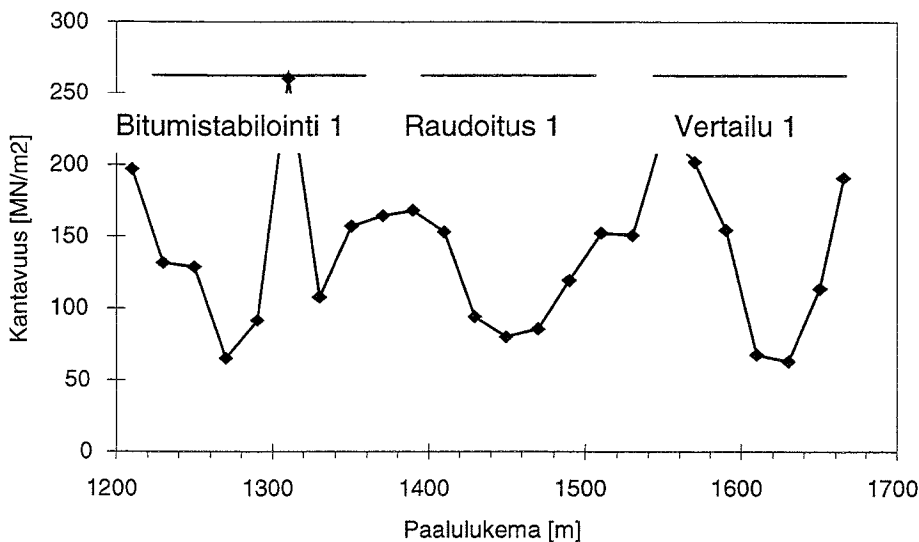
Kuva 11. Majoo, plv. 2800-3280. Maatutkaus huhtikuussa 1998 (Roadscanners Oy).



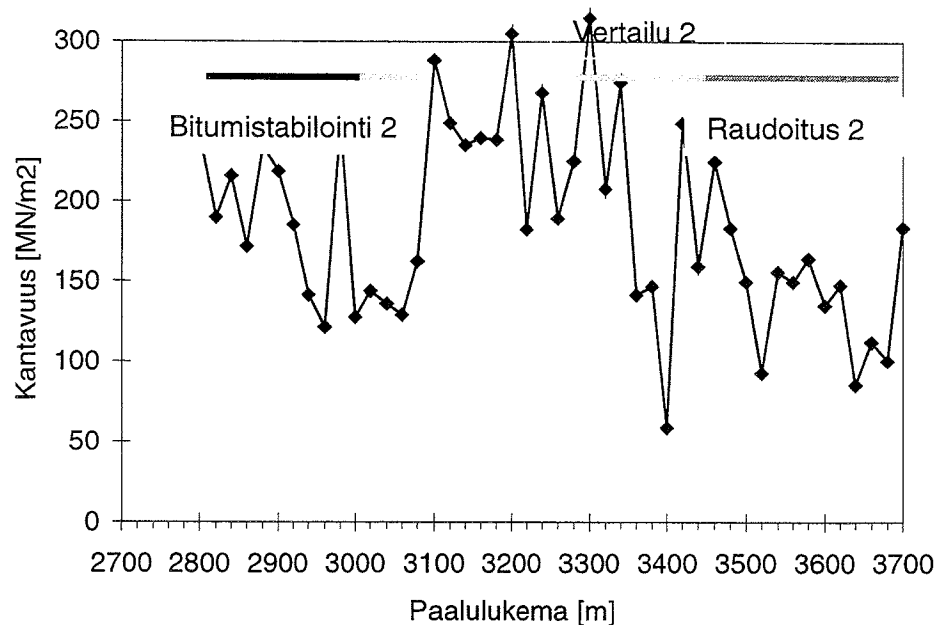
Kuva 12. Majoo, plv. 3300-3700. Maatutkaus huhtikuussa 1998 (Roadscanners Oy).

2.5.4 Pinnan kantavuus koeosuuksilla

Kantavuusarviointia varten määritettiin vanhan tierakentteen kerrokset ja kerrospaksuudet koekuoppatutkimuksella ja mitattiin vanhan tien pinnan kantavuus pudotuspainomittauksin (kuvat 13 ja 14).



Kuva 13. Urimo. Tienpinnan kantavuus syyskuussa 1996.



Kuvassa 14. Majoo.Tienpinnan kantavuus syyskuussa 1996.

Pudotuspainomittauksista laskettiin pohjamaan moduuli mittaushetkellä ja rakennekerrosten moduulit mittaushetkellä. Kullakin koeosuudella oli 8-12 mittauspistettä, joiden tuloksista laskettiin moduulien keskiarvo ja keskihajonta. Kullekin kerrokselle valittiin sitä kuvaava moduuliarvo koeosuuden matkalla käyttäen moduulin keskiarvoa vähennettynä keskihajonnalla kunkin kerroksen moduulin koeosuudella saamaa pienintä arvoa sekä lähinnä koe-kuopan kohdalla sijaitsevassa mittauspisteessä laskettua arvoa.

Rakenteen parantamistoimenpiteen vaikutus arvioitiin kantavuuden parane-
misen avulla. Parannetun rakenteen kantavuus eri vuodenaikoina arvioitiin
laskemalla arvio pudotuspainolaitteella mitattavasta taipumasuppilosta mo-
nikerrosohjelmalla (Bisar). Tällöin käytettiin lähtötietona pohjamaalle ja ra-
kennekerroksille laskettuja moduuliarvoja, joita muutettiin vastaamaan kun-
kin vuodenajan olosuhteita.

Rakenteen kuormitettavuutta voidaan lisäksi arvioida pohjamaahan kerta-
kuormituksesta syntyvän muodonmuutoksen perusteella.

Takaisinlaskentaohjelmissa, joilla pudotuspainolaitteen mittaustuloksia käsi-
teltiin, otetaan vaihtelut pohjamaan moduulissa syvyyden mukaan huomioon
asettamalla erittäin jäykkä kerros jollekin syvyydelle pohjamaahan. Näin mi-
tatut ja lasketut taipumat saadaan vastaamaan paremmin toisiaan, ja lasket-
tujen kerrosmoduulien luotettavuus paranee. Tämän ns. kiinteän pohjan sy-
vyys vaihtelee, ja aina sitä ei käytetä.

3 MATERIAALITUTKIMUKSET

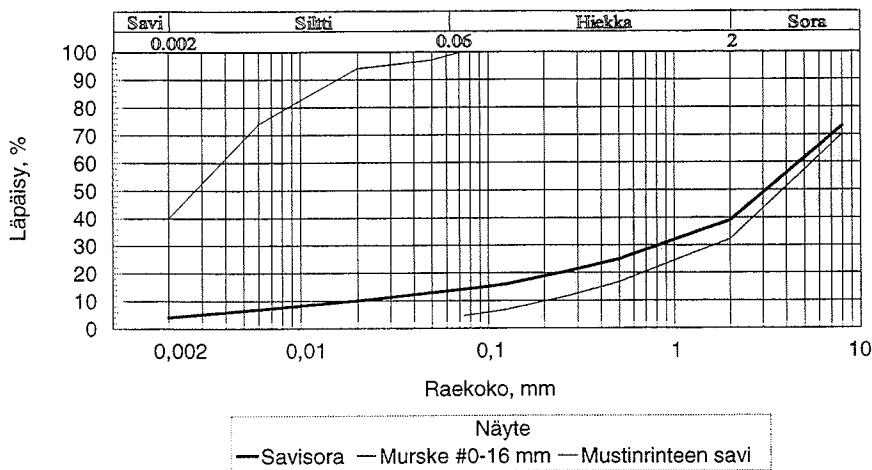
3.1 Savisoran suhteitus

3.1.1 Tavoite

Kulutuskerroksena käytettiin Mustinrinteen sorakuopalla sekoitettua murske-soraa. Savisoran suhteituksen tavoitteena oli löytää soramurskeelle 0-16 mm ja käytettävissä olleelle savelle (<0,002 mm noin 40 %) seossuhde, jolla saadaan suurin tiiveys.

3.1.2 Materiaalit

Soramurskeen #0-16 mm (Mustinrinne) ja saven (Mustinrinteen lähistö) rakeisuudet on esitetty kuvassa 15. Saven vesipitoisuus oli noin 41 % ja murskeen noin 3 %.



Kuva 15. Soramurskeen ja saven rakeisuudet.

3.1.3 Tutkimukset

Sekoitusta varten saveen lisättiin vettä noin 10 %, ja se sekoitettiin notkeaksi. Tämän jälkeen valmistettiin massanäytteet, joiden savipitoisuus oli 5, 8, 11 ja 14 %. Näytteet tiivistettiin ICT-laitteessa. Kokeiden perusteella voitiin todeta, että suurin tiheys saavutettiin massalla, jossa saven pitoisuus kuivasta aineksesta oli noin 8 %. Silmämääräisesti arvioiden homogeenisin massa saatiin 11 %:n savipitoisuudella. Savipitoisuudella 14 % koekappaleet olivat epästabiileja.

3.1.4 Suhteitus

Suhteitustutkimuksissa päädyttiin sekoitukseen, jossa savipitoisuus kuivasta aineksesta olisi noin 10 %. Märän saven ja murskeen sekoitussuhde painosina olisi näin 13 % savea ja 87 % mursketta.

3.1.5 Kantavuusvaikutus

Johtuen massan voimakkaasta kosteusvaihtelusta kentällä ei kerroksella lie-
 ne merkittävää vaikutusta kevätkantavuuteen. Massan pieni tyhjätila pienentää
 vettymisriskiä. Riittävä saven määrä taas pienentää kuivumisriskiä ja pa-
 rantaa muokattavuutta.

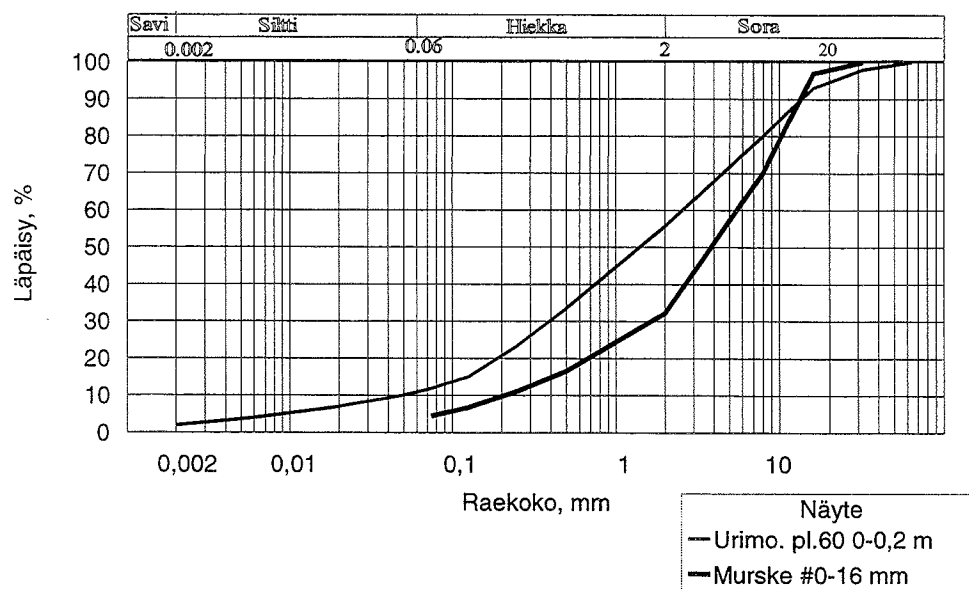
3.2 Bitumistabiloinnin suhteitus

3.2.1 Tavoite

Tavoitteena oli löytää tien päällysrakenteesta peräisin olleelle murskesoralle
 0-35 mm ja sideaineelle (bitumi B200) sellaiset sekoitussuhteet, jotta tiiviste-
 tyn massan halkaisuvetolujuus on suurimmillaan.

3.2.2 Materiaalit

Tien pintaosan rakeisuus on esitetty kuvassa 16. Murskeen lisäksi rakeisuutta
 pyrittiin parantamaan niin, että se vastaisi stabilointiohjeen mu-
 kaista rakeisuutta. Sideaine oli tiebitumia B200.



Kuva 16. Vanhan päällysrakenteen yläosan sekä murskesoralisäyksen (SrM # 0-16 mm) rakeisuudet.

3.2.3 Tutkimukset

Runkoaineuksen rakeisuussuhteituksessa todettiin, että päällysrakenteen
 yläosan materiaaliin tulisi lisätä mursketta 0-16 mm noin 5 %. Suhteistetusta
 runkoaineuksesta ja sideaineesta sekoitettiin koemassa, jossa sideainepitoi-
 suus oli 2,5, 3,5 ja 4,5 %. Koekappaleet tiivistettiin ICT-laitteella ja testattiin
 3 vrk:n varastoinnin jälkeen halkaisuvetokokeessa.

Halkaisuvetokokeiden perusteella todettiin, että suurin lujuus saavutettiin bitumipitoisuuden ollessa 3,5 %. Sitoutumisen parantamiseksi olisi tarpeen käyttää tartuketta noin 0,6 %. Massan vedenkestävyys oli noin 25 %.

Laboratoriokokeiden mukaan arvioitu bitumistabiloidun massan kimmomoduuli oli noin 1300 MPa.

4 TOTEUTETUT KOERAKENTEET

4.1 Bitumistabilointi 1 (Urimo)

4.1.1 Pohjasuhteet

Koeosuus sijaitsi Urimon tieosan alkupäässä plv. 1208-1358, ja se oli pituudeltaan 150 m. Alkupää oli alavaa, soistunutta painannetta, jossa tien pinnan korkeus oli +96,8 - +97,2. Loppupäässä tie nousi rinteeseen noin korkeudelle +97,6. Pl. 60 koekuopasta määritetty päällysrakenteen paksuus oli 0,7 metriä, jolloin pinnassa oli murskesoraa noin 0,2 m ja alla routimaton sora noin 0,5 m. Rakenteen alla havaittiin 0,2 metrin turvekerros, jonka alla oli noin 1 metrin syvyyteen asti savea. Pohjavedenpinta oli viereisellä suolla lähellä maanpintaa. Vasemmassa sivuojassa oli vedenpinta noin 0,4 metrin syvyydellä tien pinnasta lukien. Soistuneessa notkelmassa todettiin ongelmalliseksi laskuojan järjestäminen, sillä riittävän vieton saamiseksi olisi laskuoja johdettava noin 100 metrin etäisyydelle tielinjasta yksityisellä metsäalueella olevaan laskuojaan.

4.1.2 Toteutus

Koeosuuden rakentaminen aloitettiin perkaamalla sivuojat.

Tien rungosta poistettiin kivet yli 200 mm noin 200 mm:n syvyyteen. Haraus tehtiin tiehöylän perässä olleella piikkijyrsimellä, jossa oli kuusi piikkiä 200 mm:n välein. Pinnan kulutuskerroksesta poistettiin 20-50 mm. Bitumistabilointi paksuudeltaan noin 200 mm tehtiin jyrsimällä tien pintakerrokseen, ja stabiloitu kerros tiivistettiin 12 tonnin täryvalssijyrällä. Sideainetta sekoitettiin kerrokseen noin 4 %. Stabiloidun kerroksen leveys oli noin 6 metriä.

Stabilointi tehtiin 3.10.1996. Jyrsinnän yhteydessä todettiin, että pintakerrokseen oli jäänyt ylisuurta kiveä niin, että stabilointisyvyys oli plv 0-50 m 0,13-0,2 metriä, plv. 50-120 noin 0,2 m ja plv 120-150 0,18-0,2 metriä.

Savisoran materiaali valmistettiin Mustinrinteen maanotto paikalla tasaisella alustalla sekoittamalla tilavuusosina 1 kauha savea 9 kauhaan soramursketta # 0-16 mm. Massa sekoitettiin kaivinkoneen kauhalla hieroen. Sekoitettu massa kuljetettiin koeosuudelle, missä se levitettiin tiehöylällä noin 50 mm:n kerrokseksi. Muutaman päivän kuluttua savisora höylättiin uudelleen tien keskelle karheelle, josta se levitettiin uudelleen pinnalle ja tasattiin.

4.1.3 Tekniikan soveltuvuus

Maastokäynnin aikana 17.10.1996 todettiin kohteessa, että bitumistabiloidun kerroksen pinta oli liettynyt, mikä viittaa stabiloidun massan heikkoon kuivumiseen. Tämä taas lienee johtunut ajankohdan myöhäisyydestä, ahaisesta lämpötilasta ja korkeasta ilman suhteellisesta kosteudesta.

Savioran valmistus käytetyllä menetelmällä näytti ongelmalliselta, sillä jäykän saven sekoittaminen murskeeseen kaivinkoneen kauhalla hieromalla oli hidasta ja hankalaa.

4.1.4 Menetelmän soveltuvuus

Bitumistabiloinnin onnistuminen edellytti vähäkivistä materiaalia ($\# < 150$ mm). Käytetty haraus ei ollut riittävä, joten tekniikka edellyttää edelleen kehitystyötä sekä koneiden että työn osalta. Bitumistabilointikoneiden jyr sijän piikeissä oli 125 mm:n vällys, joten käytetty haraus $\# 200$ mm:n kokoon ei ollut riittävä. Harausta parempi menetelmä olisi ollut homogenisointi/kivenpoisto kaivinkoneella.

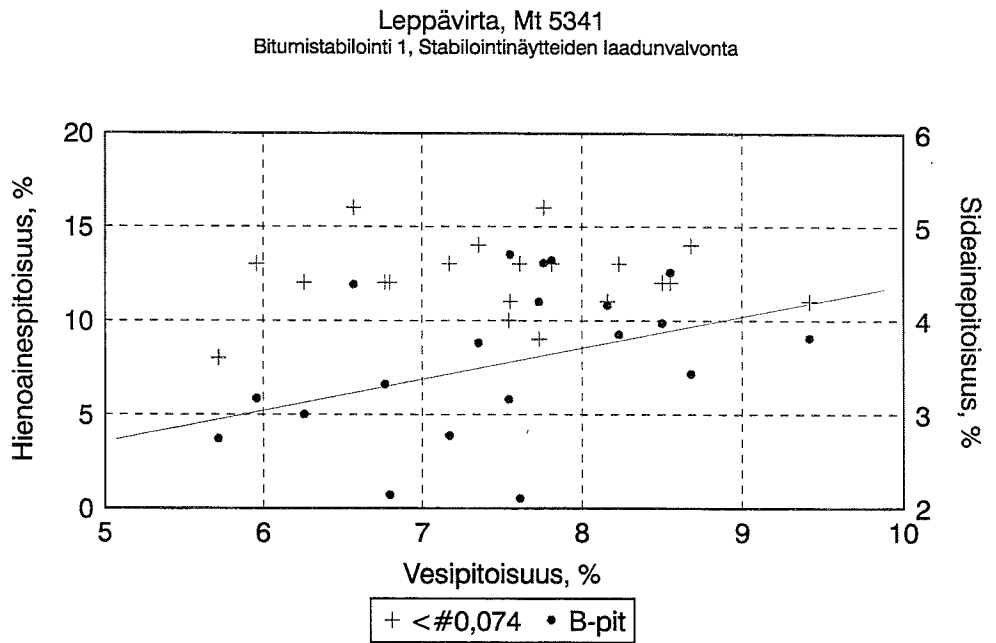
Savioran sekoittamista edesauttaisi rumpusekoituksen käyttö, jolloin olisi mahdollista pehmentää savea vesilisäyksellä. Tosin sekoitusta voitiin jatkaa tiellä. Sekoitus voidaan täydentää vielä keväällä sulamisen jälkeen, jolloin savi on plastista. Alkusekoituksen puutteista saattaa johtua sideainepitoisuuden epätasaista jakautumista tien pinnalla, mitä ei ehkä voida täysin parantaa jälkisekoituksellakaan.

4.1.5 Laatumittaukset

Bitumistabiloidun kerroksen paksuutta käsiteltiin kohdassa 4.1.2. Massanäytteistä tehtyjen määritysten mukaan oli sideainepitoisuus oli 2,1-4,7 %, keskimäärin 3,55 %. Stabiloidun kerroksen pintaosassa keskimääräinen sideainepitoisuus oli 3,5 % ja alaosassa 3,6 %.

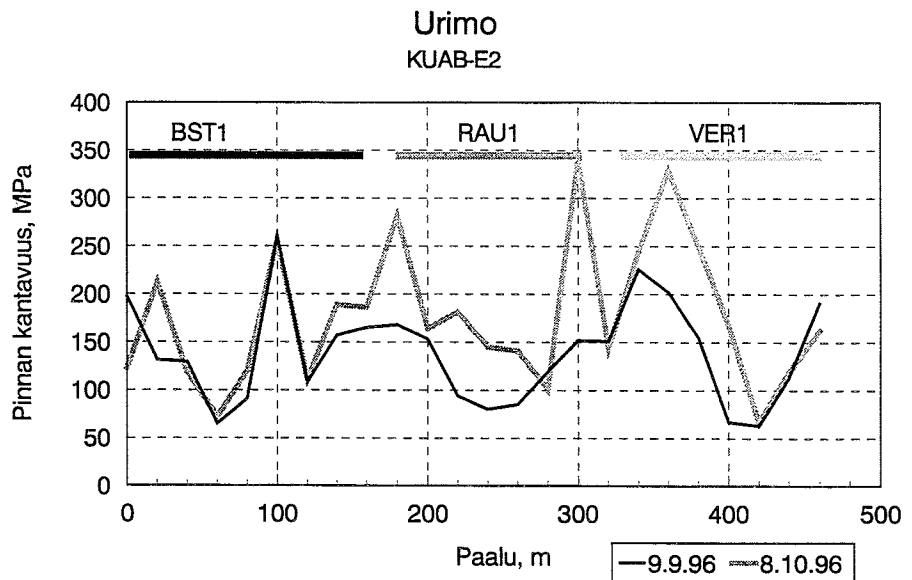
Vaihtelun syyn selvittämiseksi laadittiin kuvan 17 tarkastelu, josta voidaan tarkastella massanäytteen vesipitoisuuden, hienoainepitoisuuden ja sideainepitoisuuden vuorosuhteita.

Laadunvalvontatulosten mukaan eivät stabiloidun kerroksen pintaosan ja pohjaosan sideainepitoisuudet keskimäärin eronneet toisistaan. Edelleen hienoaines oli tasaisesti jakautunut. Sen sijaan näytteiden sideainepitoisuuden ja vesipitoisuuden välillä oli riippuvuutta havaittavissa. Riippuvuus seurannee siitä, että sideaine oli bitumin vesiliuos, josta vesi ei ollut ehtinyt kuivua työn aikana.



Kuva 17. Bitumistabiloinnin laatu tutkimukset. Näytteiden hienoaines-pitoisuuden sekä vesipitoisuuden ja sideainepitoisuuden ja vesipitoisuuden vuorosuhde.

Kantavuusmittauksia rakentamisen jälkeen on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Bitumistabilointi 1, rauditus 1, vertailu 1 (Urimo). Kantavuusmittaukset rakentamisen jälkeen.

4.1.6 Routakäyttämisen arviointi

Koerakenteen arvioitua routaantumis-, routanousu- ja sulamiskäyttämistä on tarkasteltu kohdassa 4.7.

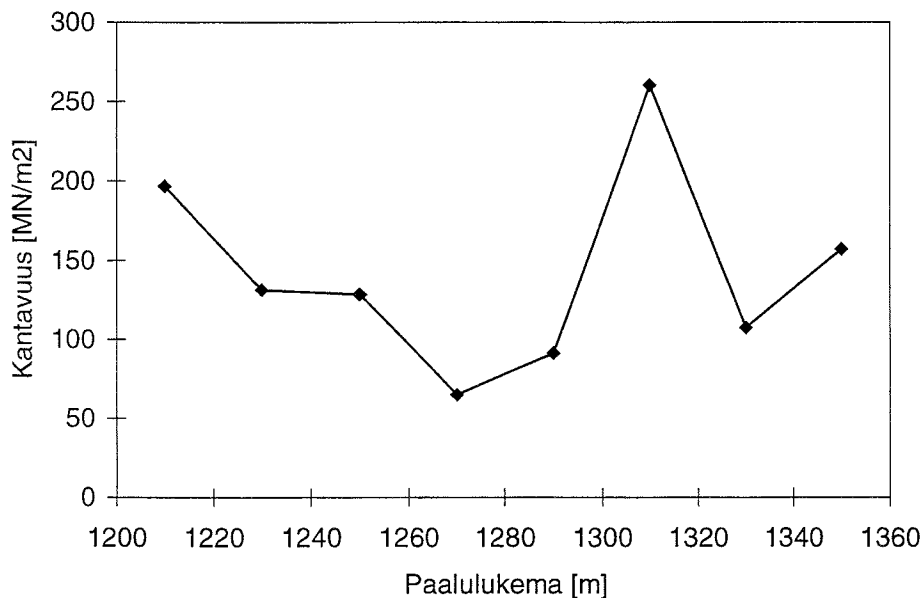
4.1.7 Kantavuustarkastelu

4.1.7.1 Vanhan rakenteen kantavuus

Vanhasta rakenteesta mitattu kesäkantavuus on esitetty kuvassa 19. Koekuopan kohdalla (paalulukema = 1268) mitattiin heikoin kantavuus. Tien pinnan kantavuus mittaushetkellä oli 65 MN/m^2 . Taulukossa 2 on esitetty koekuopasta mitatut rakennekerrospaksuudet ja niitä käyttäen lasketut pohjamaan ja rakennekerrosten muodonmuutosmoduulit. Takaisinlaskentaa varten turvekerros ($h = 0,20 \text{ m}$) yhdistettiin pohjamaan. Kova pohja asetettiin 2 m syvyydelle.

4.1.7.2 Uuden rakenteen kantavuus

Uuden rakenteen kerrospaksuudet ja rakenteelle arvioidut moduulit kesätilanteessa on esitetty taulukossa 3. Monikerrosohjelmalla laskettu keskitaipuma d_0 oli $1730 \mu\text{m}$ ja kesäkantavuus E_2 92 MN/m^2 .



Kuva 19. Bitumistabilointi 1 (Urimo). Pudotuspainolaitteella 9.9.1996 mitattu kantavuus ennen parantamista.

Taulukko 2. Bitumistabilointi 1 (Urimo). Mitatut rakennekerrospaksuudet ja niitä vastaavat E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)			
		Ka- haj	Minimi	Koekuopan kohdalla	Käytetty arvo
Msr	0,2	200	193	227	200
Sr	0,5	23	41	41	40
Tv 0,2m+Sa	1,3	20	12	12	12
kova pohja	∞	2000			

Taulukko 3. Bitumistabilointi 1 (Urimo). Vahvistetun rakenteen kerrospaksuudet ja arvioidut kesäkauden E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)
SaSr	0,1	100
Stab	0,2	1000
Sr	0,5	40
Pohjamaa	1,2	12
kova pohja	∞	2000

Kuormitettavuutta eri vuodenaikoina arvioitiin laatimalla laskelma käyttäen kutakin vuodenaikaa edustavia moduuliarvoja. Kelirikkokauden ollessa pahimmillaan ennen sulamisen päättymistä kaikkien rakennekerrosten arvioitiin olevan sulia ja veden kyllästämiä. Pohjamaan kantavuuden oletettiin vastaavan kantavuusluokan mukaista kevätkantavuutta. Näillä lähtökohdilla kerrosten E-moduuliarvojen arvioitiin olevan taulukon 3 mukaiset.

Tällöin monikerrosohjelmalla laskettu keskitaipuma d0 oli 3630 µm, josta laskettu kantavuus oli 44 MN/m².

4.1.7.3 Kausittainen kantavuusarvio

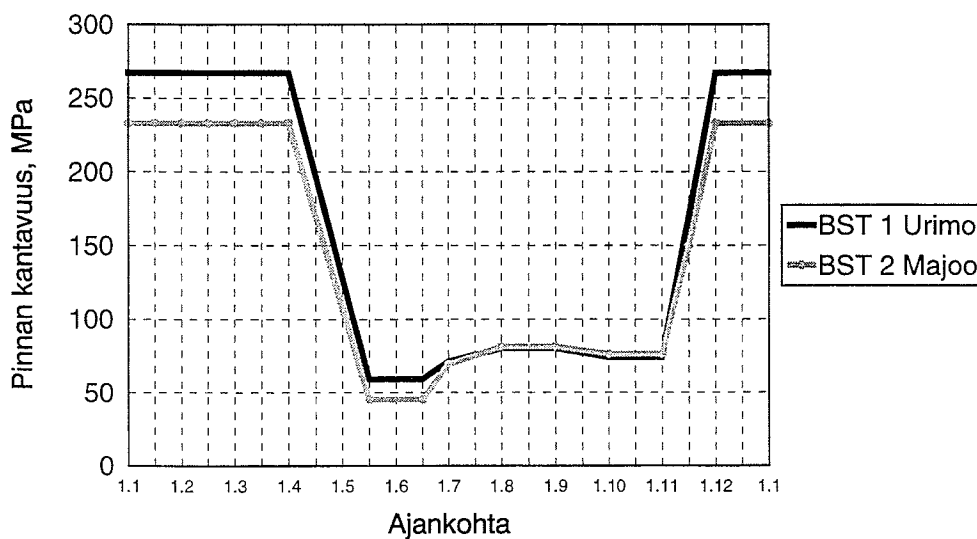
Edellä esitetyn mukaisesti BST 1:n osuudella, pl. 1268 arvioitiin pinnan kantavuuden vaihtelevan vuoden mittaan seuraavasti (taulukko 5, kuva 20).

Taulukko 4. Bitumistabilointi 1 (Urimo). Veden kyllästämän, sulavan rakenteen kerrospaksuudet ja E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)
SaSr	0,1	50
Stab	0,2	500
Sr	0,5	20
Pohjamaa	1,2	5
Kova pohja	∞	2000

Taulukko 5. Bitumistabilointi 1 (Urimo). Kantavuuden vuodenaikaisvaihtelu.

Ajanjakso	Aika keskimäärin	Pinnan kantavuus	Vanha rakenne
Routakausi	15.11 - 30.4	267 MPa	
Kevätsulaminen	30.4 - 30.6	59 MPa	
Jälkikuivuminen	1.7 - 15.7	71 MPa	
Kesä	15.7 - 30.9	80 MPa	65 MPa
Syksy	30.9 - 15.11	74 MPa	



Kuva 20. Kantavuuden arvioitu kausivaihtelu bitumistabilointiosuuksilla.

4.2 Bitumistabilointi 2 (Majoo)

4.2.1 Pohjasuhteet

Koerakenne sijoittui Majoon tieosalle 03, paaluvälille 2697-3074. Koerakenteen pituus oli noin 200 m. koeosuuden alkupää, plv 100-200, oli pituuskalteva, korkeuseron ollessa noin 5,4 metriä. plv. 200-300 oli tasainen, korkeuseron ollessa noin 0,6 metriä.

Koeosuuden yläpäässä pl. 70 tehdyssä koekuopassa oli päällysrakenteen paksuus noin 0,5 metriä, josta tien pinnassa oli murskesoraa noin 0,3 metriä ja alla soraa noin 0,2 m. Alusrakenne oli savea noin 1 metriin tasausviivasta. Tien sivuojassa seiso i vesi noin 0,4 metrin syvyydellä tasausviivasta luki en. Oja oli tukossa ja vesoittunut.

Koeosuuden paalulla 280 tehdyssä koekuopassa routimattoman päällysrakenteen paksuus oli noin 0,3 metriä. Tien pinnassa oli ohut 0,05 m:n murskekerros ja alla soraa noin 0,25 m. Alusrakenne oli kivistä hiekkamoreenia

ainakin 0,7 metrin syvyyteen asti. Vedenpinta vasemmassa, ylärinteen puoleisessa sivuojassa oli noin 0,1-0,2 metrin syvyydessä tasausviivasta. Tien vasemmassa, ylärinteen puoleisessa reunassa todettiin kostumista noin pl. 285, mikä viittaa lähteen olemassaoloon. Tie oli alavalla osalla sivukaltevassa maastossa, ja sivuoja ei toiminut.

4.2.2 Toteutus

Tien rungosta poistettiin kivet yli 200 mm noin 200 mm:n syvyyteen. Pinnan kulutuskerroksesta poistettiin 20-50 mm. Bitumistabilointi noin 200 mm tehtiin jyrsimällä tien pintakerrokseen, ja stabiloitu kerros tiivistettiin 12 tonnin täryvalssijyrällä. Sideainetta sekoitettiin kerrokseen noin 4 %. Stabiloidun kerroksen leveys oli noin 6 metriä.

Stabilointi tehtiin 3.10.1996. jyrsinän yhteydessä todettiin, että pintakerrokseen oli jäänyt ylisuurta kiveä niin, että stabilointisyvyys oli plv 100-180 m 0,1-0,2 metriä, plv. 1800-230 noin 0,2 m ja plv 230-300 0,14-0,2 metriä.

Savisora valmistettiin Mustinrinteen maanotto paikalla tasaisella alustalla sekoittamalla tilavuusosina 1 kauha savea 9 kauhaan mursketta #0-15 mm. Massa sekoitettiin kaivinkoneen kauhalla hieroen. Sekoitettu massa kuljetettiin koeosuudelle, missä se levitettiin tiehöylällä noin 50 mm:n kerrokseksi ja tiivistettiin.

4.2.3 Tekniikan soveltuvuus

Maastokäynnin aikana 17.10.1996 todettiin kohteessa, että bitumistabiloidun kerroksen pinta oli liettynyt, mikä viittaa stabiloidun massan heikkoon kuivumiseen. Tämä taas lienee johtunut ajankohdan myöhäisyydestä, ahaisesta lämpötilasta ja korkeasta ilman suhteellisesta kosteudesta.

Savisoran valmistus käytetyllä menetelmällä näytti ongelmalliselta, sillä jäykän saven sekoittaminen murskeeseen kaivinkoneen kauhalla hieromalla oli hidasta ja hankalaa.

4.2.4 Menetelmän soveltuvuus

Bitumistabiloinnin onnistuminen edellyttää vähäkivistä materiaalia (#<150 mm). Käytetty haraus ei ollut riittävä, joten tekniikka edellyttää edelleen kehitystyötä sekä koneiden että työn osalta. Bitumistabilointikoneiden jyrsimän piikeissä oli 125 mm:n välyk, joten käytetty haraus #200 mm:n kokoon ei ollut riittävä. Harausta parempi menetelmä olisi ollut homogenisointi/kivenpoisto kaivinkoneella.

Savisoran sekoittamista edesauttaisi rumpusekoituksen käyttö, jolloin oli mahdollista pehmentää savea vesilisäyksellä. Tosin sekoitusta voitiin jatkaa tiellä. Sekoitus voidaan täydentää vielä keväällä sulamisen jälkeen, jolloin savi on plastista. Alkusekoituksen puutteista saattaa johtua sideainepitoisuuden epätasaista jakautumista tien pinnalla, mitä ei ehkä voida täysin parantaa jälkisekoituksella.

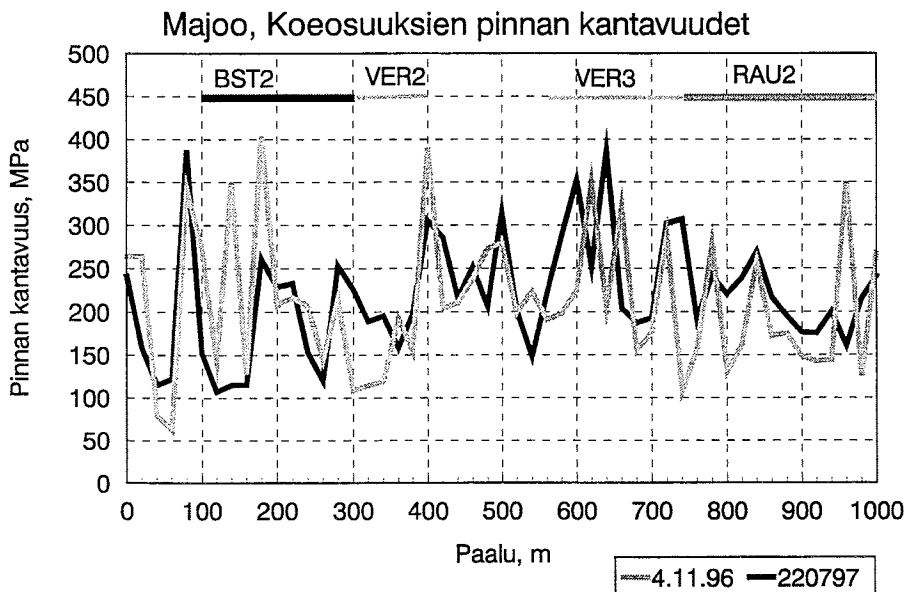
Bitumistabiloidun kerroksen kuivumista haittasi täälläkin epäedullinen teko-ajankohta.

Pintakerroksen kivisyys haittasi työtä ja esti täyssyvän kerroksen teon. Kerroksen ohenemisesta lienee seurannut bitumipitoisuuden huomattava kasvu.

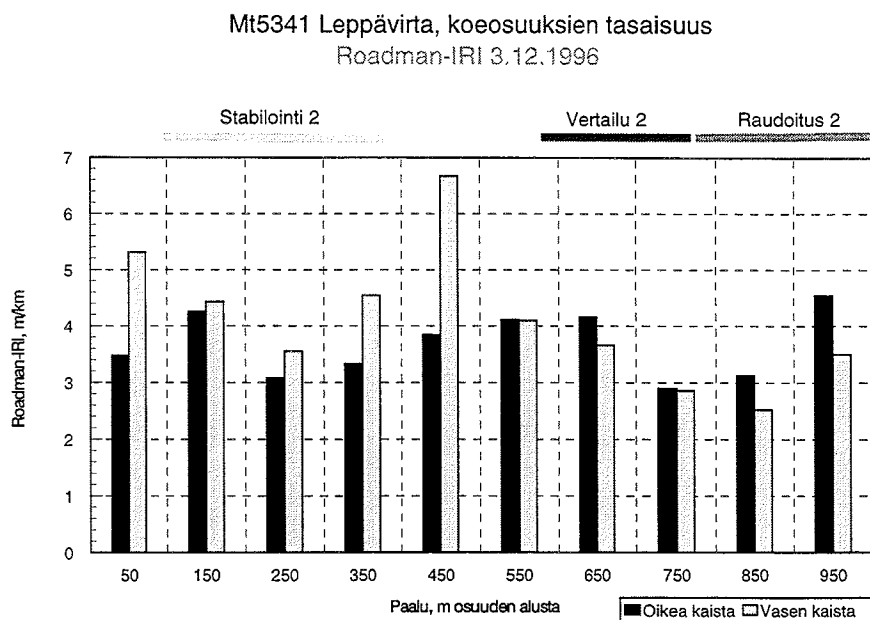
4.2.5 Laatumittaukset

Bitumistabiloidun kerroksen paksuutta on käsitelty kohdassa 3.32. Massanäytteistä tehtyjen määritysten mukaan oli sideainepitoisuus oli 3,01-5,54 %, keskimäärin 4,2 %. Stabiloidun kerroksen pintaosassa keskimääräinen sideainepitoisuus oli 4,25 % ja alaosassa 4,12 %.

Pinnan kantavuutta mitattiin rakentamisen jälkeen. Tulokset on esitetty kuvassa 21. Savisoran pinnassa koeosuudella 2 (Majoo) tehdyn tasaisuusmittauksen tulokset on esitetty kuvassa 22.



Kuva 21. Bitumistabilointi 2, Vertailu 2, raudoitus 2 (Majoo). Kantavuusmittaukset rakentamisen jälkeen.



Kuva 22. Tasaisuusmittaukset koeosuudella 2 (Majoo) rakentamisen jälkeen.

4.2.6 Routakäyttötymisen arviointi

Koeosuuden routaantumis-, routanousu- ja sulamiskäyttötymistä on arvioitu kohdassa 4.7.

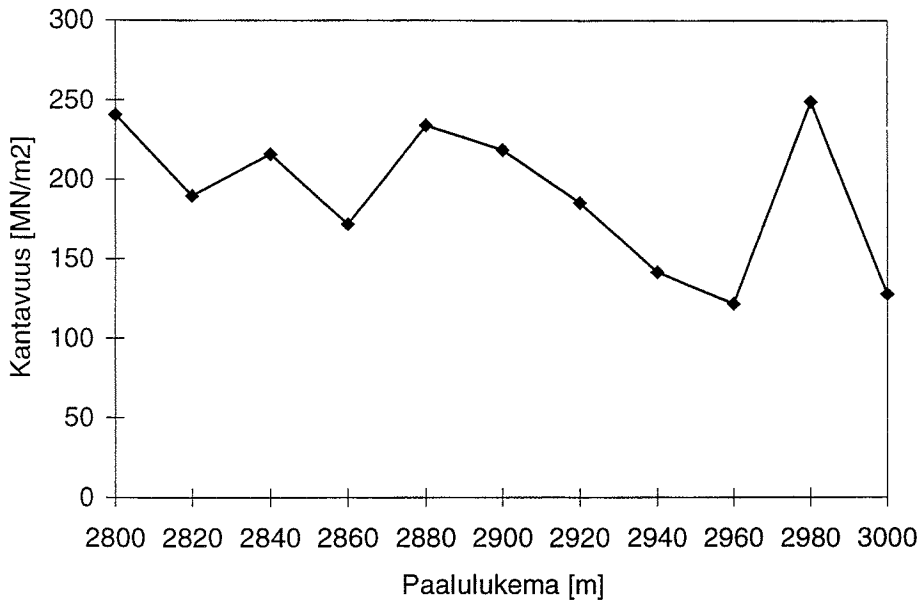
4.2.7 Kantavuustarkastelu

4.2.7.1 Vanhan rakenteen kantavuus

Vanhasta rakenteesta mitattu kesäkantavuus on esitetty kuvassa 23. Laskennan lähtötietoina käytettiin kahden koeuopan tietoja (pl. 2767 ja pl. 2977), joista jälkimmäinen oli varsinaisella koeosuudella. Jälkimmäisen koeuopan kohdalla mitattu koeosuuden suurin kantavuus oli 249 MN/m^2 . Koeosuudella mitattu pienin kantavuus oli 121 MN/m^2 pisteessä pl. 2960. Pienin kantavuus, 53 MN/m^2 , mitattiin varsinaisen koeosuuden ulkopuolella pisteessä pl. 2760, joka oli lähinnä ensimmäistä koeuoppaa.

Rakennekerrospaksuudet ja kerrosten lasketut E-moduulit olivat seuraavat (taulukko 6).

Koeosuuden alussa käytettiin ensimmäisen koeuopan paksaus/materiaalitietoa ja lopussa jälkimmäisen koeuopan paksaus/materiaalitietoa, jolloin moduulien laskennassa paaluvälillä 2800 - 2880 sorakerroksen paksuus oli 0,2 m. Paaluvälillä 2900 - 3000 kivisen hiekkamoreenikerroksen paksuus oli 0,4 m.



Kuva 23. Bitumistabilointi 2 (Majoo). Pudotuspainolaitteella 9.9.1996 mitattu kantavuus ennen parantamista.

Taulukko 6. Bitumistabilointi 2 (Majoo). Mitatut rakennekerrospaksuudet ja niitä vastaavat E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)			
		Ka-haj	Minimi	Koekuopan kohdalla	Käytetty arvo
Msr/Sr	0,3	247	195	589	200
Sr/kiHkMr	0,2/0,4	-1	17	64	20
Sa	∞	115	114	198	50

4.2.7.2 Uuden rakenteen kantavuus

Uuden rakenteen kerrokset ja niille arvioidut, kesätilannetta kuvaavat moduulit on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Bitumistabilointi 2 (Majoo). Rakennekerrosten paksuudet ja kesäkauden E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)
SaSr	0,1	100
Stab	0,2	1000
Sr	0,3/0,5	20
Pohjamaa	∞	50

Monikerrosohjelmalla laskettu keskitaipuma d_0 oli 1690 μm , josta laskettiin kesäkantavuuden arvoksi 94 MN/m². Lasketusta taipumasuppilosta saatiin

kaarevuussäteeksi KS200 = 19 m. Kevätkantavuutta arvioitiin uusimalla laskelma käyttäen kevättilannetta edustavia moduuliarvoja. Kun kaikki kerrokset olivat sulia ja veden kyllästämiä, ja pohjamaan kantavuus kantavuusluokan mukainen kevätkantavuus. Kerrosten moduuliarvoja on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Bitumistabilointi 2 (Majoo). Kerrospaksuudet ja sulamiskauden E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)
SaSr	0,1	50
Stab	0,2	500
Sr	0,3/0,5	10
Pohjamaa	∞	25

Tällöin monikerrosohjelmalla laskettu keskitaipuma d0 oli 3380 µm, josta laskettu kantavuus oli 47 MN/m². Lasketusta taipumasuppilosta saatiin kaarevuussäteeksi KS200 = 10 m. Edellä bitumistabiloinnille käytetyt moduuliarvot perustuivat olettamukselle, että kerros on ehjä. Stabiloitu kerros kuitenkin murtunee routanousun vaikutuksesta jo ensimmäisenä talvena, koska leutonakin talvena routanousut ovat suuruusluokkaa 50..100 mm. Lisäksi on epätodennäköistä, että bitumistabiloidussa kerroksessa saavutetaan näin korkea moduuliarvo, kun alla olevat kerrokset ovat pehmeitä, ja kun stabiloitua kerrosta on vaikea tiivistää. Sitomattomilla materiaalikerroksilla otaksutaan yleensä, että päällä olevan kerroksen moduuli voi olla enintään 6 x alla olevan kerroksen moduuli. Stabiloidulla kerroksella voidaan suhteen olettaa olevan hieman suuremman. Näistä syistä edellä arvioitua bitumistabiloinnin E-moduulia on pienennettävä.

4.2.7.3 Kausittainen kantavuusarvio

Edellä esitetyn mukaisesti arvioitiin koerakenteen paalulla 2977 pinnan kantavuuden vaihtelu vuoden mittaan (taulukko 9, kuva 19).

Taulukko 9. Bitumistabilointi 2 (Majoo). Kantavuuden vuodenaikaisvaihtelu.

Ajanjakso	Aika keskimäärin	Pinnan kantavuus	Vanha tie
Routakausi	15.11 - 30.4	233 MPa	
Kevätsulamien	30.4 - 30.6	45 MPa	
Jälkikuivuminen	1.7. - 15.7.	69 MPa	
Kesä	15.7 - 30.9.	81 MPa	121 MPa
Syksy	30.9. - 15.11.	76 MPa	

4.3 Raudoitettu murske 1 (Urimo)

4.3.1 Toimintatapa ja mitoitus

Tavoitteena oli lujittaa soratien yläosaa asentamalla vanhan tien päälle teräsverkkoraudoite, jonka päälle tiivistettiin 200 mm:n murskekerros. Kulutuskeroksena käytettiin savioraa. Rakenteella pyrittiin lujittamaan päällysrakennetta epätasaisen routanousun aiheuttamaa halkeilua ja löyhtymistä vastaan, jolloin tien pintakerros on mahdollisimman jäykkä sulamisvaiheessa pohjamaan pehmetessä.

Käytetty raudoiteverkko oli tyypiltään 5/7/100/150 mm (pitkittäisteräs/poikittaisteräs/ poikittaisväli/pitkittäisväli). Raudoite-elementin koko oli 2500 x 6500 mm², jolloin elementti ulottui tien poikki. Tien pituus-suuntaan ei ollut rajoitusta. Käytetty murske oli #0-35 mm. Murskekerros levitettiin kantavan kerroksen työtavan mukaisesti..

4.3.2 Pohjasuhteet

Raudoiteosuus oli Urimon tieosan 02 paaluvälillä 180-300. Tie oli osuudella tasakorkeudessa. Paalulla 260 tehdyssä koekuopassa havaittiin vanhan päällysrakenteen paksuudeksi 0,75 m, josta yläosa, 0,35 m oli murskesoraa ja alaosa, 0,4 m, soraa. Alusrakenne oli 1 metrin syvyyteen tasausviivasta savea. Oikean puoleinen sivuoja oli kuiva 0,5 metrin syvyyteen, mutta vasemmassa sivuojassa oli vedenpinta noin 0,4 metrin syvyydessä tasausviivasta. Koekuoppatutkimuksessa havaittiin kantavan kerroksen alaosan olevan märkä.

4.3.3 Toteutus

Verkko asennettiin lokakuun lopussa 1996 karhennetulle ja tasatulle vanhan tien pinnalle. Se peitettiin noin 0,2 metrin paksuisella murskekerroksella #0-35 mm. Pinnalle levitettiin saviorakerros.

4.3.4 Tekniikan soveltuvuus

Alustan valmistuksessa, verkon asentamisessa ja murskekerroksen tekemisessä ei ollut teknisiä ongelmia. Murskekerroksen toiminnan kannalta olisi ollut eduksi, että se olisi tiivistetty koneellisesti kuten kantava kerros.

4.3.5 Menetelmän soveltuvuus

Alustavissa laskennallisissa arvioissa on havaittu, että raudoitteen vetokapasiteetti riittää estämään routanoususta aiheutuvan vetohalkeilun, joten jäänyt pintakerros toimii laattana.

4.3.6 Laatumittaukset

Kantavuusmittausten tulokset rakentamisen jälkeen on esitetty kuvassa 18 (s.26).

4.3.7 Routakäyttämisen arviointi

Arviot koerakenteen routaantumisesta ja routanoususta sekä sulamisesta on esitetty kohdassa 4.7.

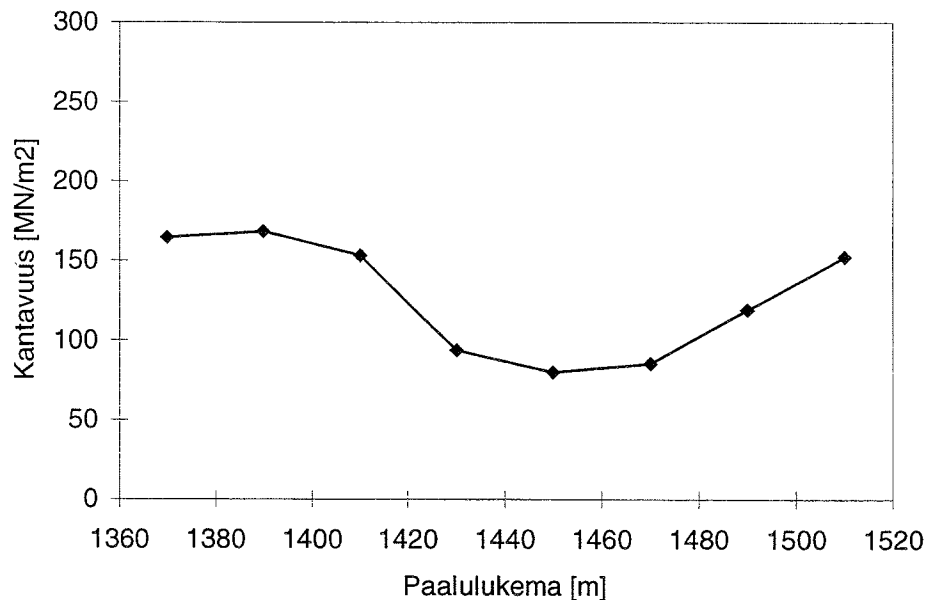
4.3.8 Kantavuustarkastelu

4.3.8.1 Vanhan rakenteen kantavuus

Vanhan tien pinnan mitattu kesäkantavuus on esitetty kuvassa 24.

Rakennekerrospaksuudet ja kerrosten lasketut E-moduulit olivat seuraavat (taulukko 10):

Koekuopan kohdalla pl. 260 mitattiin lähinnä koeosuuden keskiarvo + 1 x (keskihajonta) vastaavat taipumat. Kantavuus mittaushetkellä oli 85 MN/m², kun se heikoimmassa pisteessä oli 80 MN/m² (kuva 23).



Kuva 24. Raudoitus 1 (Urimo). Pudotuspainolaitteella 9.9.1996 mitattu kantavuus ennen rakentamista.

Taulukko 10. Raudoitus 1 (Urimo). Vanhan rakenteen kerrokset ja niiden moduulit mittausten perusteella arvioituna.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)			
		Ka-haj	Minimi	Koekuopan kohdalla	Käytetty arvo
Msr	0,35	176	160	175	175
Sr	0,4	18	14	20	20
Sa	1,35	27	26	54	30
kova pohja	∞	2000			

Koeosuuden keskiarvot (Msr, Sr, Sa) ovat 206, 39, ja 92 MN/m². Takaisinlaskennassa kova pohja oletettiin 3 metrin syvyydelle.

4.3.8.2 Uuden rakenteen kantavuus

Uusi rakenne ja sen rakennekerrosten arvioidut, kesätilannetta kuvaavat E-moduulit olivat seuraavat (taulukko 8).

Taulukko 11. Raudoitus 1 (Urimo). Rakennekerrosten paksuudet ja kesäkauden E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)
SaSr	0,1	100
RaudM	0,2	200
Mr	0,35	175
Sr	0,4	20
Pohjamaa	1,95	30
kova pohja	∞	2000

Monikerrosohjelmalla laskettu keskitaipuma d_0 oli 1680 μm , josta laskettu kantavuus oli 95 MN/m². Lasketusta taipumasuppilosta saatiin kaarevuussäteeksi KS200 12 m.

Kuormitettavuutta kevätolosuhteissa arvioitiin uusimalla laskelma käyttäen kevättilannetta edustavia moduuliarvoja. Kun kaikki kerrokset olivat kevätsumamisvaiheessa sulia ja veden kyllästämiä, kerrosten moduuliarvojen arvioitiin olevan taulukon 12 mukaiset.

Taulukko12. Rauditus 1 (Urimo). Kerrospaksuudet ja sulamiskauden E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)
SaSr	0,1	50
RaudM	0,2	100
M	0,35	80
Sr	0,4	10
Pohjamaa	1,95	15
kova pohja	∞	2000

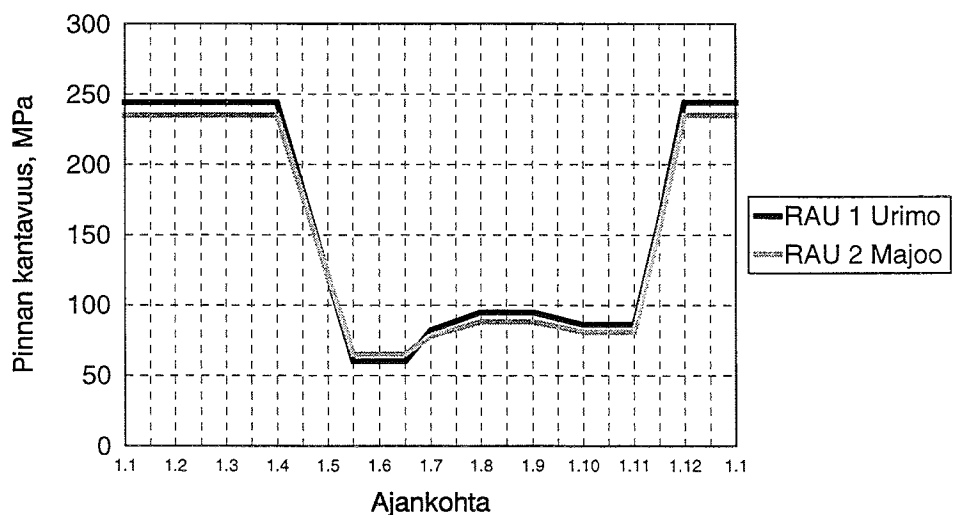
Monikerrosohjelmalla laskettu keskitaipuma d_0 oli 3410 μm , josta laskettu kantavuus oli 47 MN/m². Lasketusta taipumasuppilosta saatiin kaarevuussäteeksi $KS200 = 6 \text{ m}$.

4.3.8.3 Kausittainen kantavuusarvio

Edellä esitetyn mukaisesti rauditus 1:n paalulla 260 arvioitiin pinnan kantavuuden vaihtelevan vuoden mittaan seuraavasti (taulukko 13, kuva 25)

Taulukko 13. Rauditus 1 (Urimo). Kantavuuden vuodenaikaisvaihtelu.

Ajanjakso	Aika keskimäärin	Pinnan kantavuus	Vanha rakenne
Routakausi	15.1. - 30.4.	244 MPa	
Kevätsulamminen	1.5. - 30.6.	60 MPa	
Jälkikuivuminen	1.7. - 15.7.	82 MPa	
Kesä	15.7. - 30.9.	95 MPa	80 MPa
Syky	30.9. - 15.11	86 MPa	



Kuva 25. Rauditusosuudet 1 (Urimo) ja 2 (Majoo). Kantavuuden arvioitu kausivaihtelu.

4.4 Raudoitettu murske 2 (Majoo)

4.4.1 Pohjasuhteet

Raudoitettu koerakenne 2 sijaitsi Majoon tieosan 03 plv. 760-1000. Osuuden alkuosa oli laskevaa rinnettä (korkeus +99,8 - +95,7) plv. 760-940, ja tien pinta kääntyi edelleen nousuun loppuosalla plv. 960-1000.

Notkossa, paalulla 940 tehdyssä koekuopassa oli päällysrakenteen paksuus 0,6 metriä. Tien pinnassa oli murskesoraa 0,15 m ja alla soraa 0,45 m. Alusrakenne oli savea ainakin noin 1,2 metrin syvyyteen tasausviivasta. Koekuopan kohdalla oli oikea sivuoja kuiva 0,4 metrin syvyyteen. Vasemmassa sivuojassa seiso i vesi noin 0,4 metrin syvyydessä. Tutkimuksen aikana havaittiin sivuojien olleen yleensä kuivia ja vesoittuneita. Laskuoja oli pl. 930. Tiekohdan todettiin lisäksi olleen keväällä vetisen ja kelirikkoisen. Routanousu lienee ollut tasaista. Tien painanneosuuksilla samoin kuin soistuneilla kohdilla todettiin mursketta olleen enemmän kuin rinneosuuksilla. Laki- osuuksilla kantavan kerroksen kivet olivat paikoin näkyvissä raiteissa.

4.4.2 Toteutus

Koerakenteen toteutuksessa pätevät samat havainnot kuin kohdassa 3.43. Sama koskee käytetyn tekniikan soveltuvuutta ja menetelmän soveltuvuutta.

4.4.3 Laatumittaukset

Koeosuuden kantavuusmittauksia rakentamisen jälkeen on esitetty kuvassa 21 (s.32).

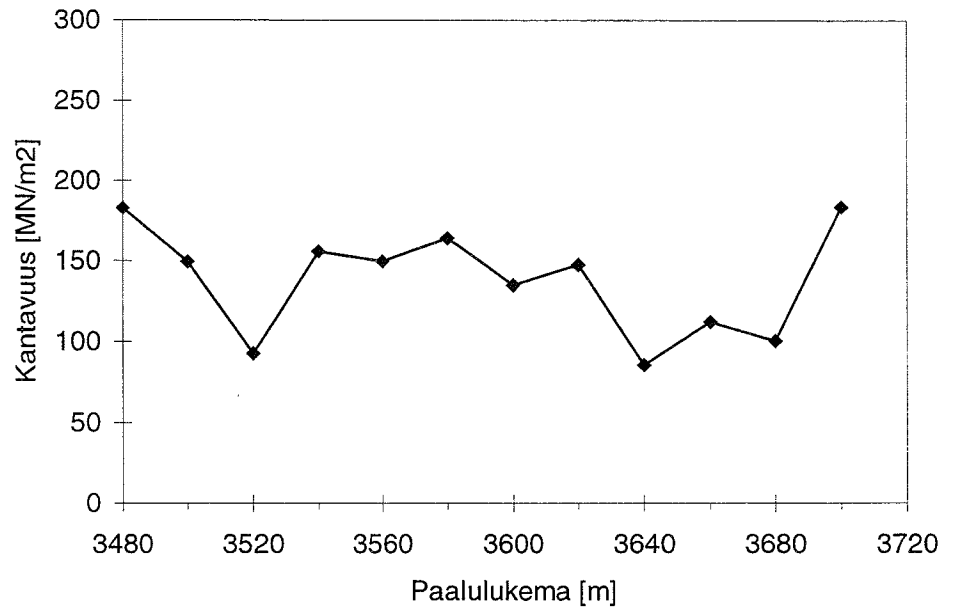
4.4.4 Routakäyttötymisen arviointi

Routaantumis- ja routanousu- ja sulamisarviot on esitetty kohdassa 4.7.

4.4.5 Kantavuustarkastelu

4.4.5.1 Vanhan rakenteen kantavuus

Koekuopan kohdalla on mitattu maksimitaipuma (heikoin kantavuus). Kantavuus oli mittaushetkellä 85 MN/m² (kuva 26). Rakennekerros-paksuudet ja -moduulit olivat seuraavat (taulukko 14):



Kuva 26. Raudoitus 2 (Majoo). Pudotuspainolaitteella 9.9.1996 mitattu kantavuus.

Taulukko 14. Raudoitus 2 (Majoo). Mitatut rakennekerrospaksuudet ja niitä vastaavat E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)			
		Ka-haj	Minimi	Koekuopan kohdalla	Käytetty arvo
Msr	0,15	265	239	362	150
Sr	0,45	72	62	85	60
Sa	1,4	30	13	13	15
kova pohja	∞	2000			

Takaisinlaskennassa kova pohja asetettiin 2 m syvyydelle. Murskesoran moduuliarvoa pienennettiin tuntuvasti takaisinlasketuista moduuliarvoista, joiden arvoja kasvatti merkittävästi kerroksen ohuus (ainoastaan 0,15 m).

4.4.5.2 Uuden rakenteen kantavuus

Uusi rakenne ja sille arvioidut kesätilannetta kuvaavat moduulit olivat seuraavat (taulukko 15).

Taulukko 15. Raudoitus 2 (Majoo). Rakennekerrosten paksuudet ja kesäkauden E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)
SaSr	0,1	100
RaM	0,2	200
M	0,15	150
Sr	0,45	60
Pohjamaa	1,1	15
kova pohja	∞	2000

Monikerrosohjelmalla laskettu keskitaipuma $d_0 = 1800 \mu\text{m}$, josta laskettu kantavuus oli 88 MN/m^2 . Lasketusta taipumasuppilosta saatiin kaarevuussäteeksi $\text{KS200} = 12 \text{ m}$. Kuormitettavuutta kevätolosuhteissa arvioitiin uusimalla laskelma käyttäen kevättilannetta edustavia moduuliarvoja. Kun kaikkien kerrosten otaksuttiin olevan sulia ja veden kyllästämiä, kerrosten moduuliarvojen arvioitiin olevan taulukon 16 mukaiset.

Taulukko 16. Raudoitus 2 (Majoo). Kerrospaksuudet ja sulamiskauden E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)
SaSr	0,1	50
RaM	0,2	100
M	0,15	75
Sr	0,45	30
Pohjamaa	1,1	8
kova pohja	∞	2000

Monikerrosohjelmalla laskettu keskitaipuma oli $d_0 = 3560 \mu\text{m}$, josta laskettu kantavuus oli 45 MN/m^2 . Lasketusta taipumasuppilosta saatiin kaarevuussäteeksi $\text{KS200} = 6 \text{ m}$.

4.4.5.3 Kausittainen kantavuusarvio

Edellä esitetyn mukaisesti Raudoitus 2:n osuudella, pl. 3640, arvioitiin pinnan kantavuuden vaihtelevan vuoden mittaan seuraavasti (taulukko 17, kuva 24).

Taulukko 17. Raudoitus 2 (Majoo). Kantavuuden kausivaihtelu.

Ajanjakso	Aika keskimäärin	Pinnan kantavuus	Vanha rakenne
Routakausi	15.11. - 30.4.	235	
Kevätsulaminen	1.5. - 30.6.	65 MPa	
Jälkikuivuminen	1.7. - 15.7.	78	
Kesä	15.7. 30.9.	88 MPa	85 MPa
Syksy	1.10.- 15.11.	81	

4.5 Vertailuosuus 1 (Urimo)

4.5.1 Pohjasuhteet ja rakenne

Vertailuosuus 1 sijaitsi Urimon tieosan 02 plv.330-460, joka oli jotakuinkin tasakorkeudessa (+100,5 - +101,4). Koeosuuden paalulla 420 tehdyssä koekuopassa havaittiin päällysrakenteen paksuuden olevan 0,6 metriä, josta pinnassa murskesoraa noin 0,15 m ja alla soraa 0,45 m. Alusrakenne oli noin 1,2 metrin syvyyteen tasausviivasta savea. Murskekerroksessa havaittiin kivi, jonka läpimitta oli noin 600 mm. Tien oikeassa sivuojassa havaittiin seisovaa vettä, kun taas vasen sivuoja oli kuiva.

Vertailuosuus päällystettiin lokakuun lopulla 1996 savioralla kuten koerakennesuudetkin.

Kantavuusmittauksia rakentamisen jälkeen on esitetty kuvissa 16.

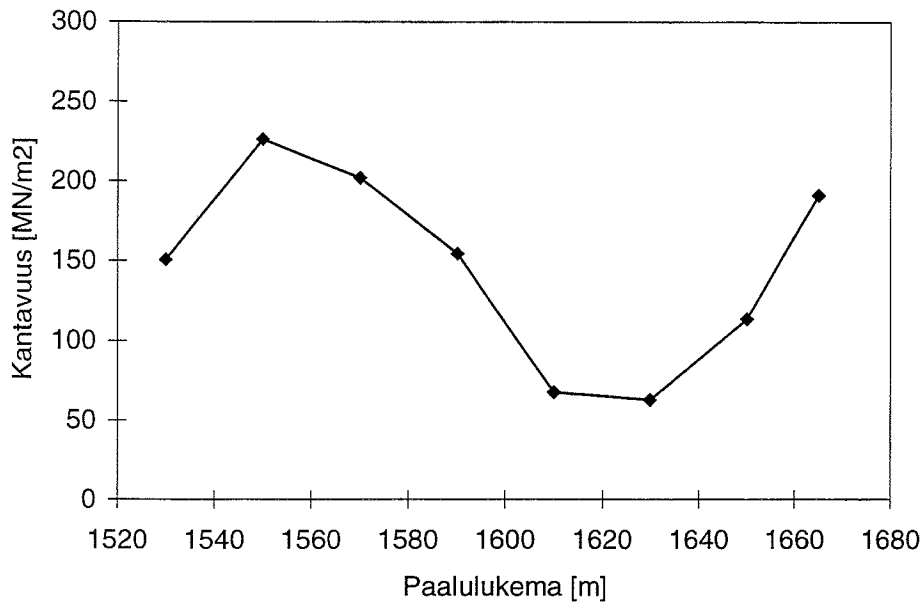
4.5.2 Routakäyttämisen arviointi

Vertailuosuuden 1 routanousu- ja routaantumis- samoin kuin sulamiskäyttämistäkin on kuvattu kohdassa 4.7.

4.5.3 Rakenteen kantavuus

4.5.3.1 Vanhan rakenteen kantavuus

Koekuopan kohdalla pl. 420 mitattiin maksimitaipuma (heikoin kantavuus). Kantavuus oli mittaushetkellä 63 MN/m² (kuva 27). Rakennekerros-paksuudet ja -moduulit olivat seuraavat (taulukko 18):



Kuva 27. Vertailu 1 (Urimo). Pudotuspainolaitteella 9.9.1996 mitattu kantavuus.

Taulukko 18. Vertailu 1 (Urimo). Mitatut rakennekerrospaksuudet ja niitä vastaavat E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)			
		Ka-haj	Minimi	Koekuopan kohdalla	Käytetty arvo
Msr	0,15	308	283	374	300
Sr	0,45	57	29	44	60
Sa	1,4	29	12	12	30
kova pohja	∞	2000			

Takaisinlaskentaa varten kova pohja asetettiin 2 m syvyydelle. Käytetyillä arvoilla monikerrosohjelmalla lasketut kesäarvot olivat:

$$\text{Kantavuus} = 87 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{KS200} = 20 \text{ m}$$

sekä kevätarvot: $\text{Kantavuus} = 44 \text{ MN/m}^2$

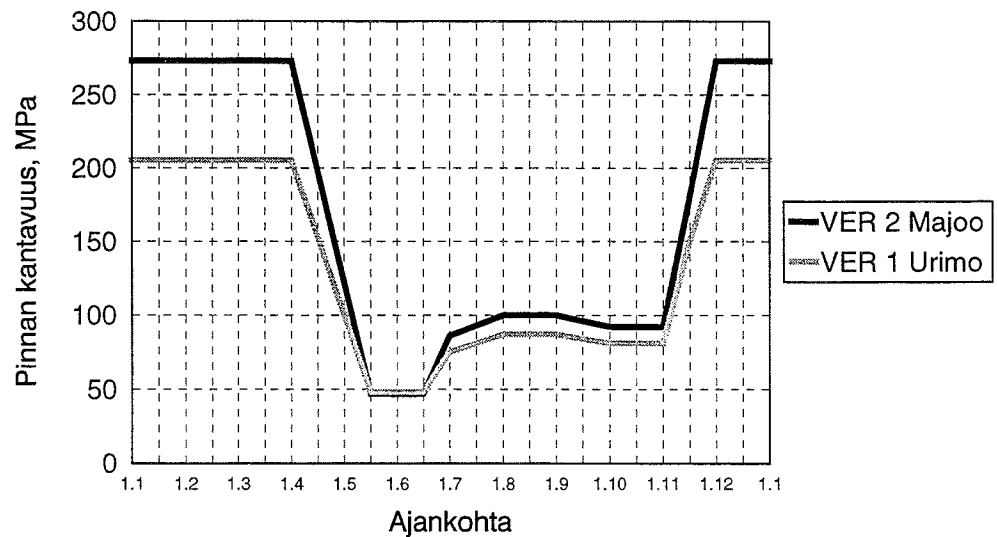
$$\text{KS} = 10 \text{ m}$$

4.5.3.2 Kausittainen kantavuusarvio

Edellä esitetyn mukaisesti Vertailu 1:n osuudella, pl. 3400, arvioitiin pinnan kantavuuden vaihtelevan vuoden mittaan seuraavasti (taulukko 19 ja kuva 28).

Taulukko 19. Vertailu 1 (Urimo). Kantavuuden kausivaihtelu.

Ajanjakso	Aika keskimäärin	Pinnan kantavuus	Vanha rakenne
Routa-kausi	15.11. - 30.4.	205 MPa	
Kevätsulaminen	1.5. - 30.6.	48 MPa	
Jälkikuivuminen	1.7. - 15.7.	75 MPa	
Kesä	15.7. - 30.9.	87 MPa	
Syysy	1.10. - 15.11	81 MPa	



Kuva 28. Vertailuosuudet 1 (Urimo) ja 2 (Majoo). Kantavuuden arvioitu kausivaihtelu.

4.6 Vertailuosuus 2 (Majoo)

4.6.1 Pohjasuhteet ja rakenne

Vertailuosuus sijaitsi Majoon tieosan 03 plv. 580-770. Alkuosa, plv. 580 - 660 oli laskevaa rinnettä, ja plv. 660-770 likimäärin tasakorkeudessa. Koe-kuopassa pl. 680 havaittiin päällysrakenteen paksuudeksi 0,65 m, josta yläosa oli murskesoraa noin 0,3 metrin paksuudelta, ja alaosa soraa noin 0,35 m. Alla oli savea ainakin noin 1,2 metrin syvyyteen tasausviivasta. Ojat olivat kuivia, mutta vesoittuneita. Vertailuosuudelle 2 tehtiin uusi savisorakerros vanhan tien pinnalle kuten vertailuosuudella 1.

Kantavuusmittauksia rakentamisen jälkeen on esitetty kuvassa 18 (s.26).

4.6.2 Routakäyttämisen arviointi

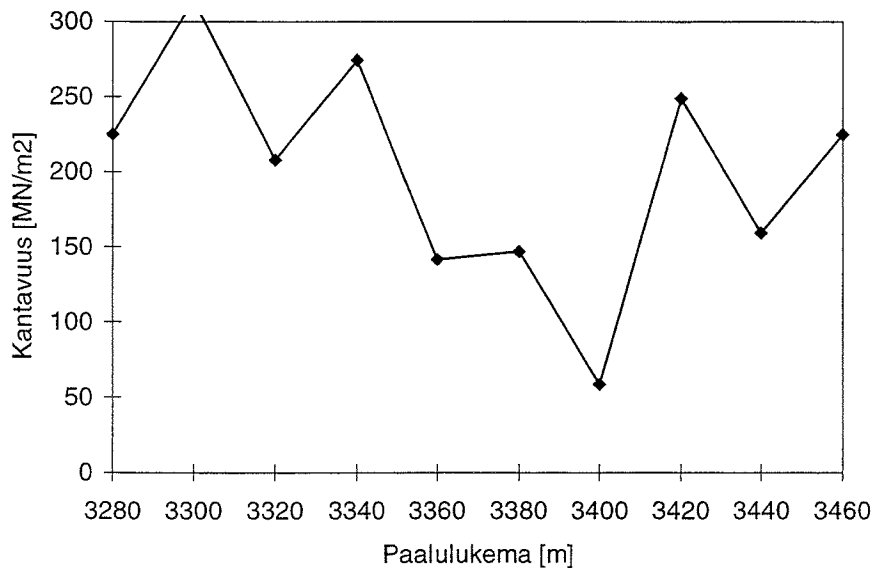
Vertailuosuuden 2 routanousu- ja routaantumisarvio samoin kuin sulamisarvio on esitetty kohdassa 4.7.

4.6.3 Rakenteen kantavuus

4.6.3.1 Vanhan rakenteen kantavuus

Koekuopan kohdalla ($p_l = 3377 \approx 3380$) mitattu E2-arvo mittaushetkellä on ollut 147 MN/m². Pienin kantavuus on mitattu kohdassa $p_l = 3400$, E2 = 59 MN/m² (kuva 29).

Rakennekerrospaksuudet ja -moduulit ovat seuraavat (taulukko 20) :



Kuva 29. Vertailuosuus 2 (Majoo). Pudotuspainolaitteella 9.9.1996 mitattu kantavuus.

Taulukko 20. Vertailu 2 (Majoo). Mitatut rakennekerrospaksuudet ja niitä vastaavat E-moduulit.

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m ²)			
		Ka-haj	Minimi	Koekuopan kohdalla	Käytetty arvo
Msr	0,30	183	89	256	200
Sr	0,35	7	24	66	30
Sa	1,35	25	66	77	60
kova pohja	∞	2000			

Takaisinlaskentaa varten kova pohja asetettiin 2 m syvyydelle. Käytetyillä arvoilla monikerrosohjelmalla lasketut kesäarvot ovat:

Kantavuus 100 MN/m²

KS200 = 18 m

ja kevätarvot:

Kantavuus 50 MN/m²

KS200 = 9 m

4.6.3.2 Kausittainen kantavuusarvio

Edellä esitetyn mukaisesti Vertailu 2:n osuudella, pl. 3400, arvioitiin pinnan kantavuuden vaihtelevan vuoden mittaan seuraavasti (taulukko 21, kuva 28):

Taulukko 21. Vertailu 2 (Majoo). Kantavuuden kausivaihtelu.

Ajanjakso	Aika keskimäärin	Pinnan kantavuus	Vanha rakenne
Routakausi	15.11. - 30.4.	273 MPa	
Kevätsulaminen	1.5. - 30.6.	47 MPa	
Jälkikuivuminen	1.7. - 15.7.	86 MPa	
Kesä	15.7. -30.9.	100 MPa	
Syky	1.10. - 15.11	92 MPa	

Vertailurakenteet, jotka liittyivät koeosuuksiin, olivat vanhaa tierakennetta. Pinnalle tehtiin uusi saviorapinta.

4.7 Routanousu- ja sulamisarvio

4.7.1 Johdanto

Tässä tutkimuksessa pyrittiin löytämään kelirikon vaivaamalle soratielle sellaisia rakenneratkaisuja rakennetta parantamalla, että tien kantavuus kelirikkoaikana olisi liikennesuorituksen nähden riittävä. Alustavasti päädyttiin siihen, että tieosan päällysrakennetta vahvistetaan toisaalta tien yläosaan tehtävällä bitumistabiloidulla kerroksella ja toisaalta tien päälle tehtävällä raudoitettulla murskekerroksella. Koeosuudet päällystettiin savioralla.

Tehty rakenteen parannus ei olennaisesti muuttanut tien routaantumisoljoja. Tämän vuoksi oli oletettavissa, ettei tien routuminen ja routanousutaso juuri muuttuisi. Samoin sulamiskehitys keväällä oli samanlainen kuin soratiellä ennen parantamista.

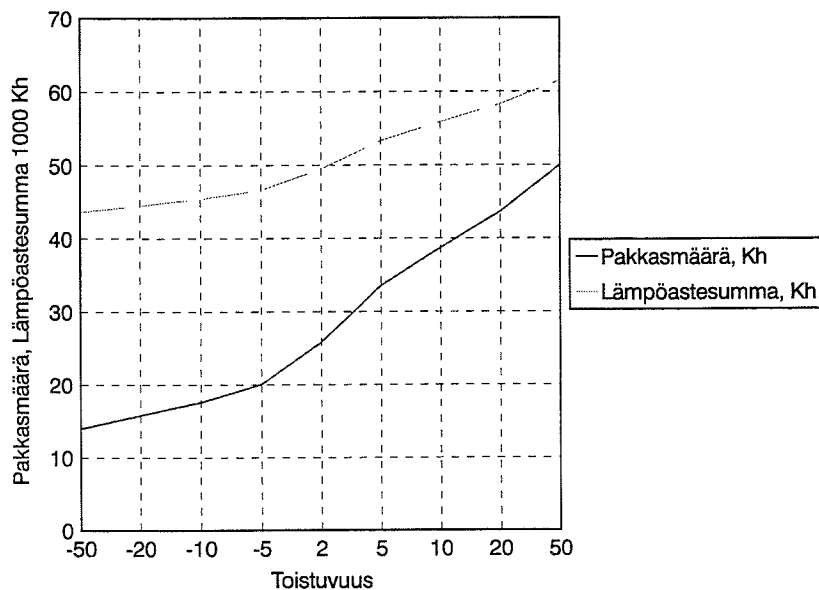
Seuraavassa tarkastellaan routanousun ja routaantumisen kehittymistä koe-rakenteissa. Arvioita voitiin tarkentaa, kun tutkimustietoja pohjamaan routivuudesta ja rakenteiden ja pohjamaan kantavuudesta oli käytettävissä.

4.7.2 Ilmasto-olosuhteet koalueella

Ilman lämpötiloista viimeisellä ilmastokaudella 1961-1990 laskettu pakkasmäärän toistuvuus sekä ilman lämpöastesumman toistuvuus Varkauden Käpykankaan havaintopaikalla on esitetty kuvassa 30. Sen mukaan keskimääräinen pakkasmäärä oli noin 25 800 Kh, kerran 10 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä oli noin 39 000 Kh ja kerran 10 vuodessa toistuva pienin pakkasmäärä noin 18 000 Kh. Keskimääräinen lämpöastesumma oli noin 50 000 Kh, vaihdellen kymmenen vuoden toistuvuudella arvojen 45 000 ja 55 000 Kh välissä. Vuoden pitkäaikainen keskilämpötila oli Varkaudessa noin +2,8 °C.

Pakkasmäärän ja lämpöastesumman toistuvuus, Varkaus, Käpykangas, 1961-90

Toistuvuus: 2 (keskimäärin), -10 (min kerran 10 vuodessa), 10 (max kerran 10 vuodessa)



Ilmatieteen laitoksen tilastot, Kivikoski 1995

Kuva 30. Pakkasmäärän ja lämpöastesumman vaihtelu Varkauden Käpykankaan havaintopaikalla vv. 1961-90 (Ilmatieteen laitos, Kivikoski 1993).

4.7.3 Koerakenteiden routaantuminen ja routiminen

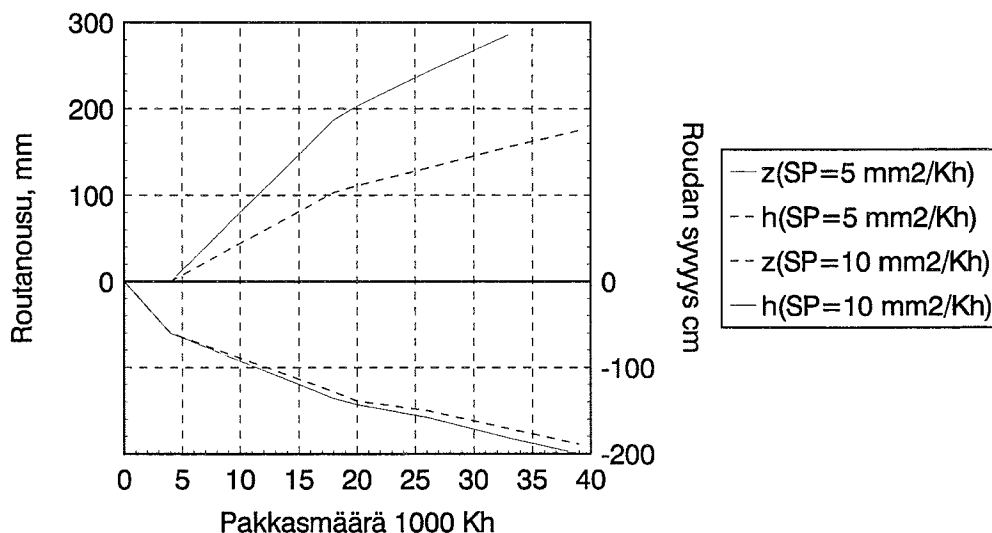
4.7.3.1 Vertailurakenne

Vertailurakenne oli vanha tierakenne, johon on uusittu savisorapintausta. Vertailurakenne 1:n (Urimo, pl. 420) rakenne oli seuraava:

- SrM 150 mm
- Sora 450 mm
- savi alusrakenne

Otaksumalla eri pakkasmäärät ja saven routimiskertoimeksi 5 tai 10 mm²/Kh saatiin kuvan 31 mukainen roudan syvyyden ja routanousun jakautuma.

Mt 5341 Leppävirta Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantaminen
Vertailu 1 (Urimo) Routanousu- ja roudansyvyysarvio



Kuva 31. Vertailu 1 (Urimo). Routanousu ja roudan syvyysarvio eri pakkasmäärillä ja routimiskertoimen SP arvoilla.

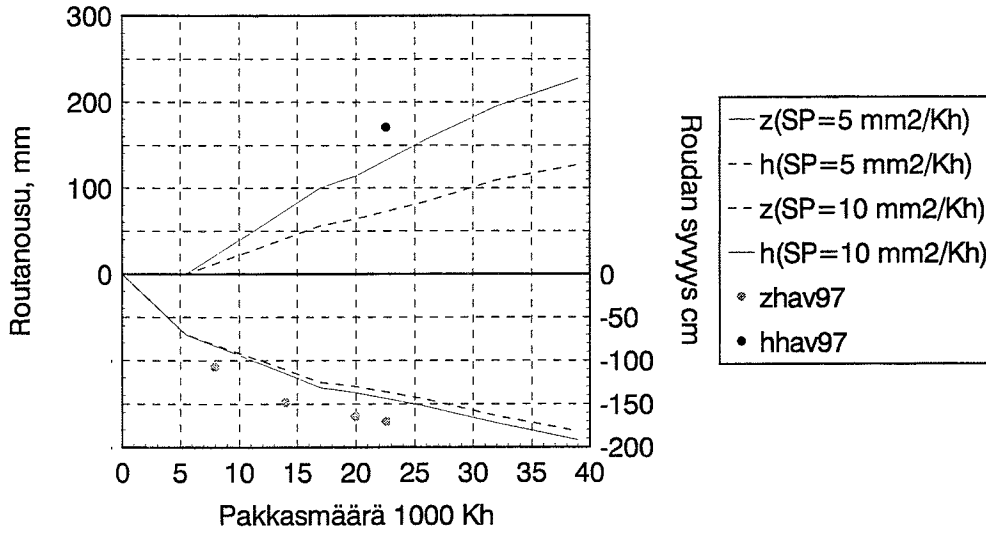
4.7.3.2 Raudoitus 1

Raudoitettujen rakenteiden kerrokset olivat:

SrM + saSr	200 mm
SrM	300 mm
Sr	400 mm

Otaksumalla eri pakkasmäärät ja saven routimiskertoimeksi 5 tai 10 mm²/Kh saatiin kuvan 32 mukainen roudan syvyyden ja routanousun jakautuma.

Mt 5341 Leppävirta Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantaminen
Raudoitus 1 Routanousu- ja roudan syvyysarvio



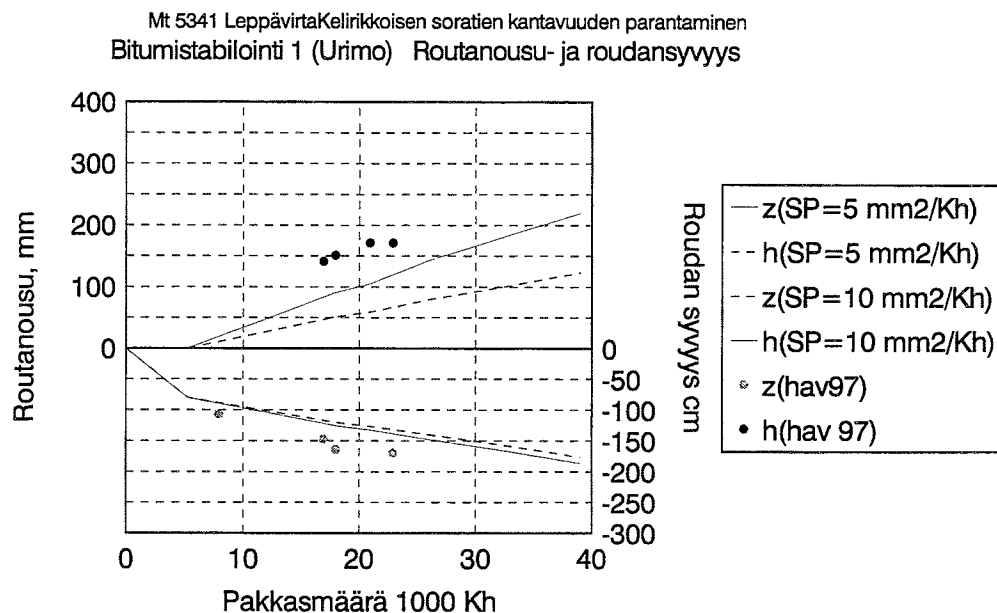
Kuva 32. Raudoitus 1 (Urmo). Koerakenteen routanousu- ja roudan syvyysarvio.

4.7.3.3 Bitumistabilointi 1

Bitumistabiloinnilla vahvistetun rakenteen kerrokset olivat:

saSr+BST	200 mm
Sr	500 mm
Tv	200 mm

Otaksumalla eri pakkasmäärät ja saven routimiskertoimeksi 5 tai 10 mm²/Kh saatiin kuvan 33 mukainen roudan syvyyden ja routanousun jakautuma.



Kuva 33. Bitumistabilointi 1 (Urimo). Routanousu ja roudan syvyys eri pakkasmäärillä.

4.7.4 Sulaminen ja kelirikon kesto

Sulamisen alkaa silloin, kun vuorokauden keskilämpötila maanpinnassa nousee jäätympisteen yläpuolelle. Normaalisti sulaminen alkaa, kun ilman lämpötila on $-2... -3$ °C.

Roudan syvyys on verrannollinen pakkasmäärään, joka talvella lasketaan ilman lämpötilojen perusteella. Maanpinnan lämpötilojen voidaan arvioida karkeasti vastaavan ilman lämpötiloja. Pakkasmäärä kuvaa siten maanpinnan pakkasrasitusta. Roudan sulattamiseen tarvitaan vastaava lämpövaikutus, maanpinnan lämpöaste-summa. Tätä voidaan karkeasti arvioida ilman lämpöastesumman kertymän avulla. Tien pinnan lämpötila on sulamisaikana ja myöhemmin kesällä lämpimämpi kuin ilma johtuen mm. auringon säteilyn lämpövaikutuksesta, mikä nostaa pintalämpötilan ilman lämpötilaa korkeammaksi.

Maanpinnan lämpötilakehityksen tarkempi arviointi on moninaisista tekijöistä johtuen hankalaa, eikä näiden tekijäin (säteily, pilvisuus, höyrystyminen, tuulen nopeus) tilastotietoja ja yhteistodennäköisyyksiä ole saatavissa. Seuravassa käytetään vertailukohtana ilman lämpöastesummaa.

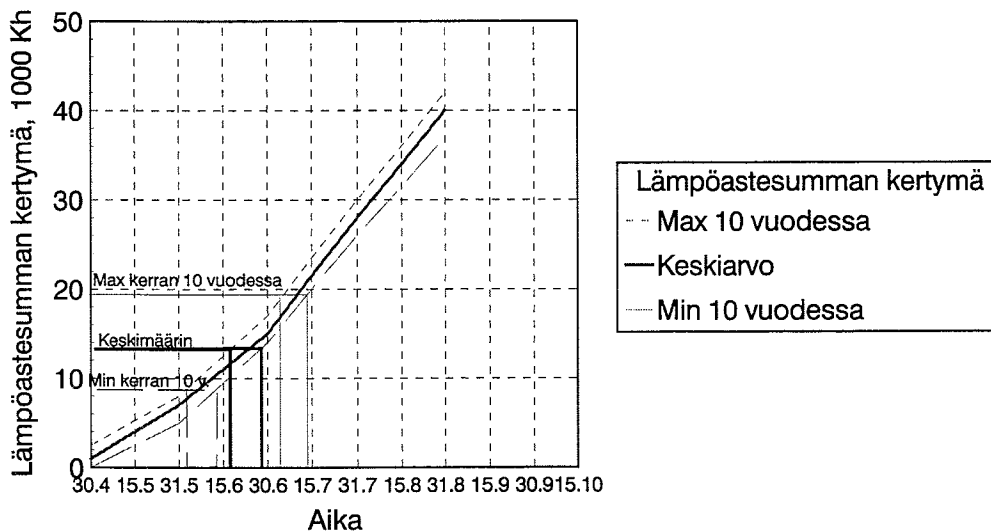
Kesäajan pintalämpötilaa on arvioitu ns. n-kerroin-menetelmällä (mm. Lunnardi 1978). Sen mukaan voidaan otaksua, että soratien pinnan lämpötila on sulamisvaiheessa noin 1,5...2-kertainen ilman lämpötilaan verrattuna.

Taulukossa 22 esitetään eri toistuvuuksia vastaavat pakkasmäärät ja niitä vastaavat lämpöastesummat. Kuvassa 34 ilmenee tietyn pakkasmäärän aiheuttaman roudan sulattamiseen tarvittava aika ottaen huomioon talven ankaruuden vaihtelu ja kevään lämpimyden vaihtelu.

Taulukko 21. Eri toistuvuutta edustavien pakkasmäärien kompensointiin tarvittava lämpöastesumma Varkauden Käpykankaan ilmastoaseman mukaan.

Pakkasmäärä	Lämpöastesumma (F/1,5), Kh	Lämpöastesumma (F/2), Kh
F ₋₁₀ 17576 Kh	11700	8800
F ₋₅ 20028 Kh	13400	10000
F ₋₂ 25795 Kh	17200	12900
F ₋₅ 33554 Kh	22400	16800
F ₋₁₀ 38691 Kh	25800	19300

Varkaus, Käpykangas
Lämpöastesumman kertymä kalenteriajassa



S Saarelainen 1996

Kuva 34. Sulamiskauden ajoittuminen lämpimänä (max 10 vuodessa) ja kylmänä (min kerran 10 vuodessa) kesänä keskimääräisen, kylmän (max kerran 5 vuodessa) ja leudon (min kerran 5 vuodessa) jälkeen.

Kuvan 34 mukaan 10 vuoden välein toistuvan ankaran talven jälkeen routa sulaisi kokonaan aikaisintaan heinäkuun alussa ja viimeistään heinäkuun puolivälissä, keskimääräisen talven jälkeen välillä 15.6 - 30.6, ja kerran 10 vuodessa toistuvan leudoimman talven jälkeen 1.6. - 15.6.

Maapohjaan routimalla sitoutunut vesi virtaa ulos vielä sulamisen jälkeenkin. Tämän jälkikuivumisajan pituus riippuu pohjamaan vedenläpäisevyydestä, routakerroksen kokonaispaksuudesta ja routineen pohjamaan routivuudesta (routanoususuhteesta).

Jälkikuivumisaika lienee näissä olosuhteissa keskimäärin 2-3 viikkoa.

5 SEURANTAMITTAUKSET

5.1 Seurantamittausohjelma

Seurantaa varten laadittiin seurantamittaussuunnitelma (kuva 35).

Seurannalla pyrittiin dokumentoimaan koerakenteiden routimista, olosuhteita, routaantumista, sulamista ja sulamispehmenemistä niin, että tuloksista voitiin analysoida pohjamaan, rakennekerrosten ja lujitusrakenteiden toiminta erityisesti kesä- ja kevätkantavuuden osalta.

Leppävirta, Routivan soratien kantavuuden parantaminen
Seurantamittaukset talvikaudella 1996-97 ja kesällä 1997

	Loka	Marras	Joulu	Tamm	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys
Roudan syvyys			○	○	○	○	○					
Routanousu			○	○	○	○	○					
Pintavaaitus				○		○		○				
Pohjavesi			○	○	○	○	○					
Kantavuus				○		○		○	○	○	○	○
Vauriot								○				
Sulamissyvyys								○	○	○	○	○
Sul. painuma								○	○	○	○	○
Tasaisuus				○		○		○	○	○	○	○
Kosteus (saSr)								○	○	○	○	

Kuva 35. Seurantamittausten ajoittuminen talvella 1996-97.

5.2 Alkumittaukset rakentamisen jälkeen

Rakentamisen jälkeen ennen routakauden alkua, tehtiin koe- ja vertailuosuuksien pintavaaitus ja kantavuusmittaukset sekä tasaisuusmittaus (Roadman-IRI).

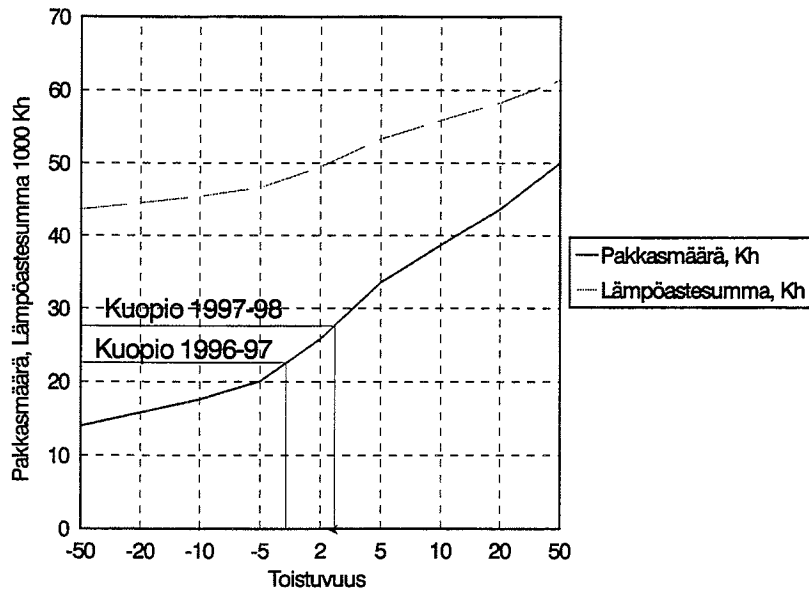
5.3 Havaintotalvet

Talven aikana mitattiin koerakenteiden routaantumista, pohjamaasta aiheutuvaa routanousua ja routanousun vaihtelua pituuslinjalla sekä pohjaveden pinnan korkeutta. Savisorapinnassa havaittavat halkeamat ja routaepätasaisuudet kartoitettiin routakauden lopussa.

Talven 1996-97 pakkasmäärä oli Kuopion lentokentällä 22610 Kh. Talven 1997-98 pakkasmäärä oli Kuopion lentokentällä 27 571 Kh. Varkauden Käpykankaalla oli kaudella 1961-1990 pakkasmäärä keskimäärin 25800 Kh (kuva 36). Pakkasmäärän kertymästä arvioitu kuukauden keskilämpötila on esitetty kuvassa 37.

Pakkasmäärän ja lämpöastesumman toistuvuus, Varkaus, Käpykangas, 1961-90

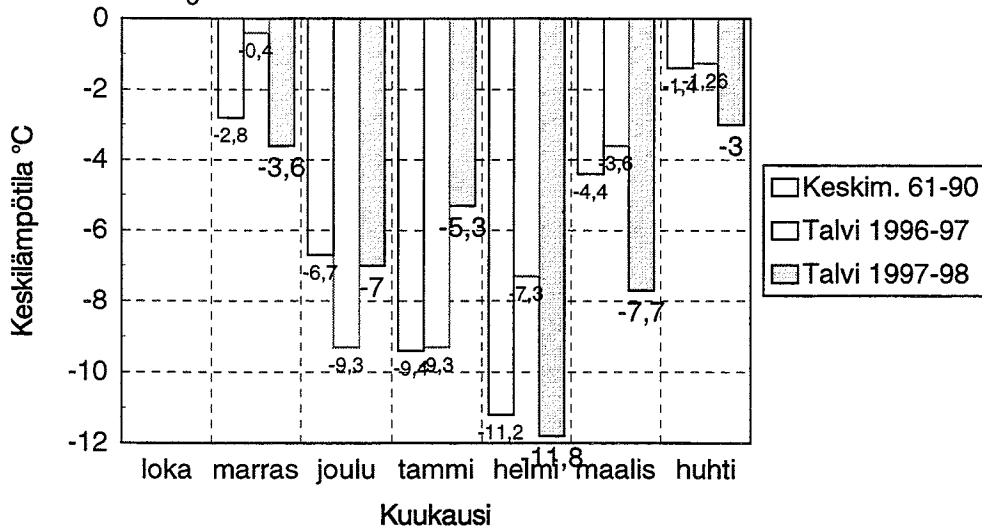
Toistuvuus: 2 (keskimäärin), -10 (min kerran 10 vuodessa), 10 (max kerran 10 vuodessa)



Kuva 36. Talvien 1996-97 ja 1997-98 pakkasmäärät Kuopiossa verrattuna Varkaus, Käpykangas, toteutuneisiin pakkasmääriin kaudella 1961-90.

Kuukauden keskilämpötilat

Keskimäärin (Varkaus, Käpykangas), talvi 1996/97 (Kuopio, lentokenttä)



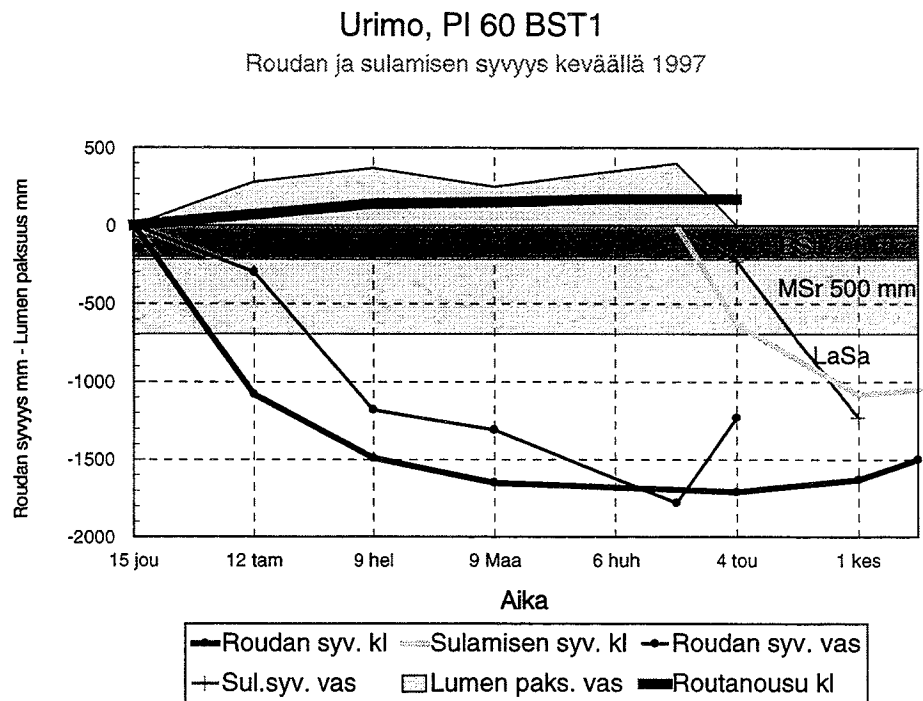
Kuva 37. Ilman kuukausikeskilämpötilat keskimäärin Varkauden Käpykankaan havaintopaikalla sekä talvella 1996-97 ja 1997-98 Kuopion lentoasemalla.

Talvi 1996-97 oli hiukan keskimääräistä leudompi. Syksy oli leuto, joulukuu kylmä, tammikuu keskimääräinen ja loppukevät keskimääräistä lämpimämpi. Talvi 1997-98 oli pakkasiltaan keskimääräinen. Syksy oli kylmä, joulutammikuu leuto, ja loppupalvi keskimääräistä kylmempi. Talvi 1997-98 oli pakkasiltaan keskimääräinen. Syksy oli kylmä, joulutammikuu leuto, ja loppupalvi keskimääräistä kylmempi.

5.4 Routahavainnot

5.4.1 Roudan ja sulamisen syvyys, routanousu ja sulamispainuma havaintopisteissä

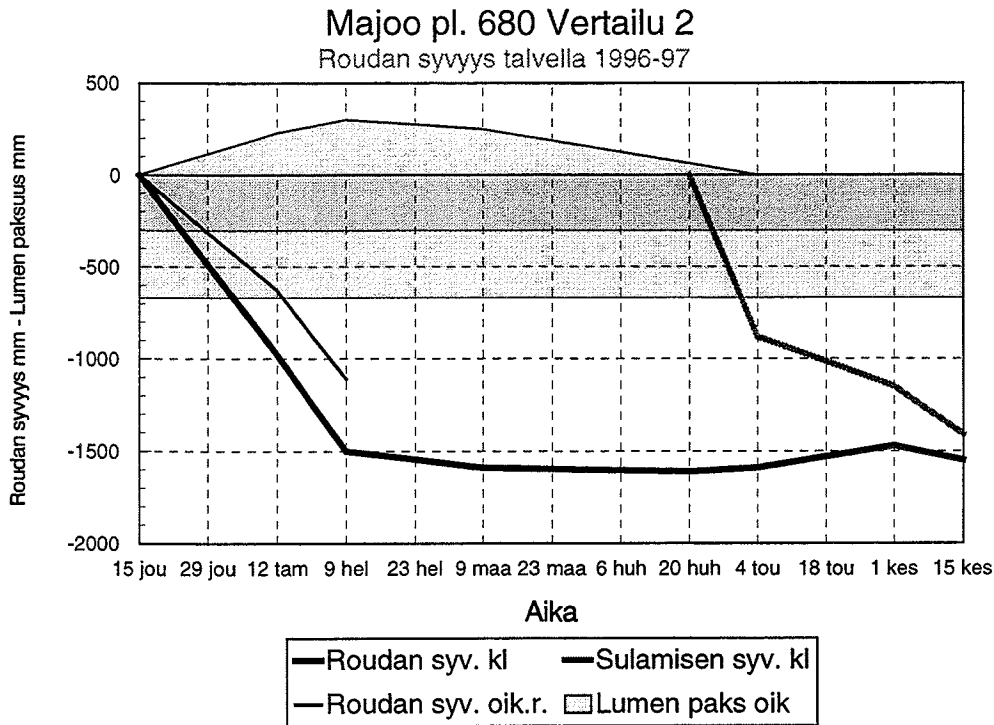
Roudan syvyyttä mitattiin routaputkilla Urimon pl. 60 ja Majoon pl. 680. Tuloksia on esitetty kuvissa 38-41.



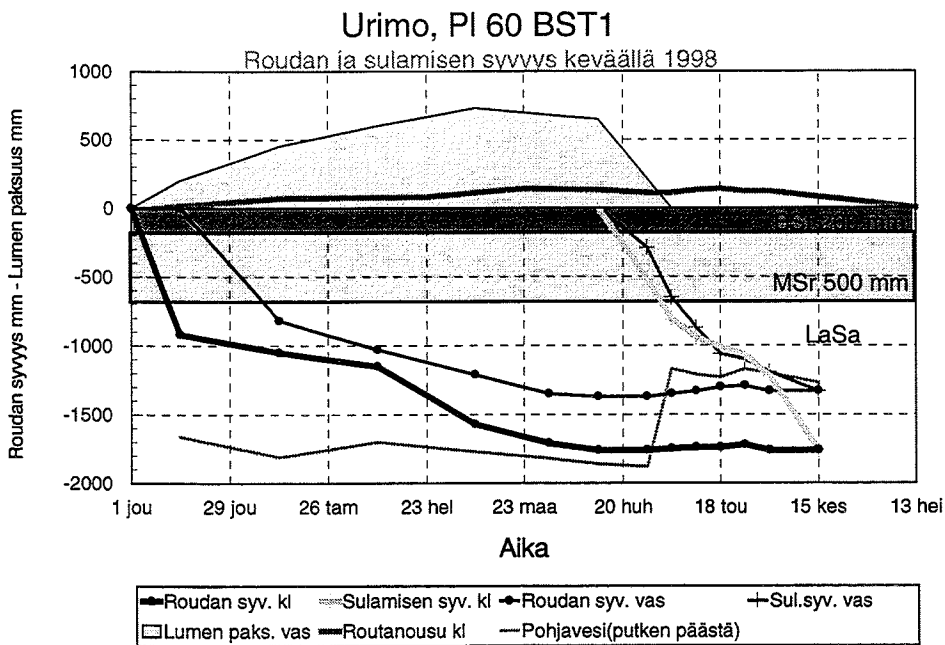
Kuva 38. Roudan ja sulamisen syvyys Urimon paalulla 60 (BST 1).

Roudan maksimisyvyys, noin 1,7 metriä, saavutettiin Urimossa tien keskilinjalla huhtikuussa 1997. Tien reunassa roudan syvyys oli noin 0,5 metriä pienempi. Lunta oli havaintojen mukaan tien reunaluiskassa 0,25-0,4 m. Keskilinjalla mitattu routanousu oli 170 mm. Sulaminen alkoi huhtikuun puolivälissä ja lienee päättynyt kesäkuun loppuun mennessä. Routanoususuhte oli routivassa alusrakenteessa noin 0,17, mikä vastaa routimiskertoimen SP arvoa noin $7 \text{ mm}^2/\text{Kh}$.

Huhtikuussa 1997 roudan syvyys oli Majoon tieosan pl. 680 suurimmillaan noin 1,6 metriä. Sulaminen alkoi huhtikuun puolivälissä ja päättyi noin 20.6.1997.



Kuva 39. Roudan ja sulamisen syvyyshavainnot Majoon paalulla 680.

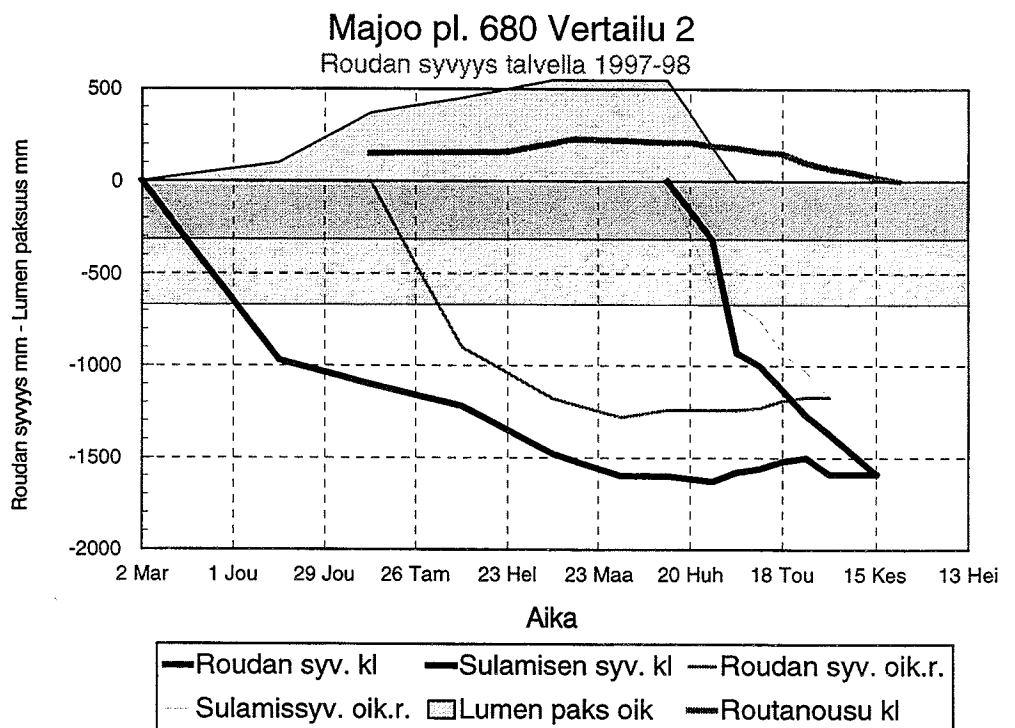


Kuva 40. Roudan ja sulamisen syvyys Urimon paalulla 60 (BST 1).

Roudan maksimisyvyys, noin 1,76 metriä, saavutettiin Urimossa tien keskilinjalla huhtikuun puolivälissä 1998. Tien reunassa roudan syvyys oli noin 0,4 metriä pienempi. Lunta oli havaintojen mukaan tien reunaluiskassa enimmillään 0,7 m. Keskilinjalla mitattu routanousu oli 140 mm. Sulaminen alkoi huhtikuun puolivälissä ja päättyi kesäkuun puolivälissä. Sulamispainuma alkoi toukokuun puolivälissä, kun sulamissyvyys oli noin 1 metri. Sulamispainuma oli suunnilleen puolessa sulamisen päättyessä kesäkuun

alkupuolella. Sulamispainuma päättyi 2-3 viikon kuluttua sulamisen päättymisestä, suunnilleen ennen heinäkuun puoliväliä. Routanoususuhde oli routivassa alusrakenteessa noin 0,13, mikä vastaa routimiskertoimen SP arvoa noin $5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$.

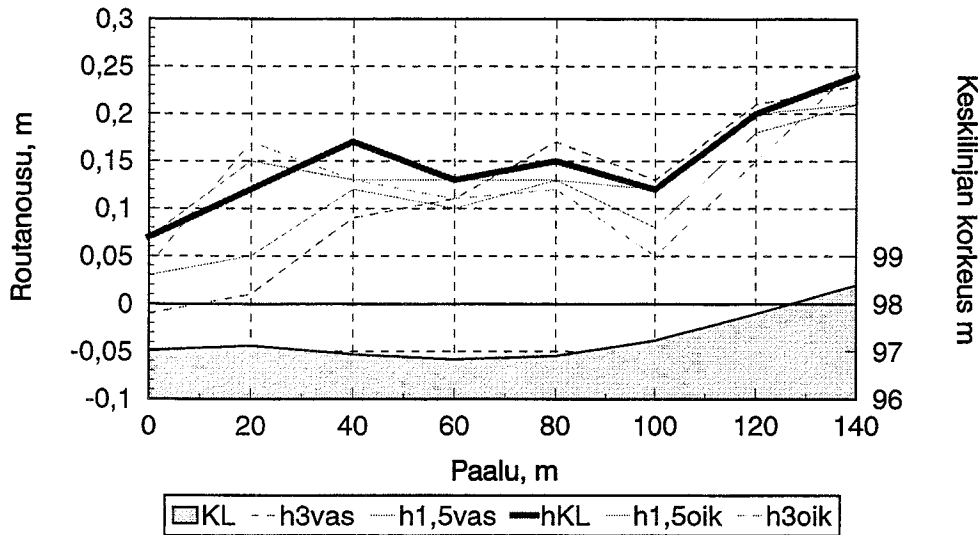
Roudan syvyys oli Majoon tieosan pl. 680 suurimmillaan huhtikuussa 1998 keskilinjalla noin 1,63 metriä ja oikeassa reunassa noin 1,3 metriä. Routanousu oli keskilinjalla noin 230 mm. Sulaminen alkoi huhtikuun puolivälissä ja päättyi 12.6.1998. Sulamispainuma alkoi huhtikuun lopussa, jolloin sulaminen oli ehtinyt pohjamaahan. Sulamispainuma oli sulamisen päättyessä noin 90 % routanoususta, ja jälkipainuma kesti noin viikon. Routanoususuhde oli routivassa pohjamaassa noin 0,25, mikä vastaa routimiskertoimen arvoa noin $10 \text{ mm}^2/\text{Kh}$.



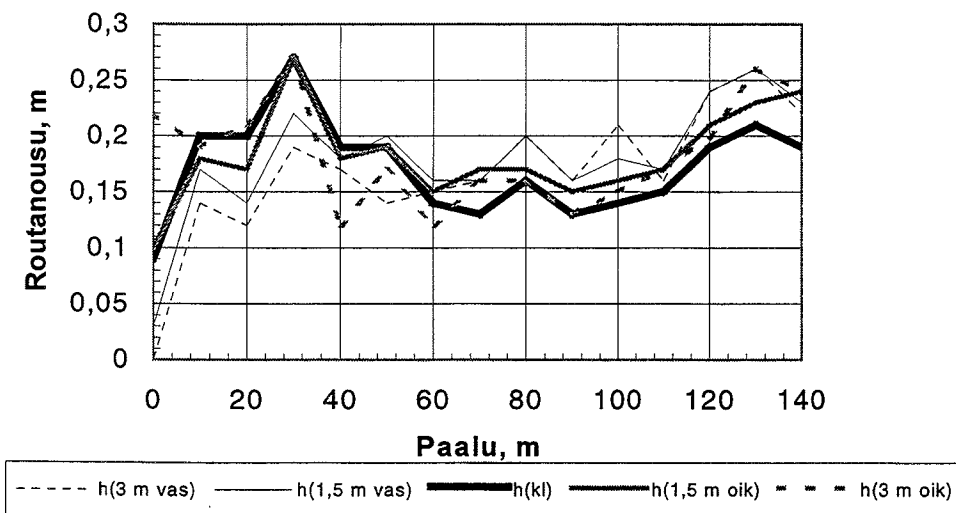
Kuva 41. Roudan ja sulamisen syvyyshavainnot Majoon paalulla 680.

5.4.2 Tien pinnan routanousu

Tienpinnan routanousu koeosuksittain keväällä 1997 ja 1998 on esitetty Urimon tieosalla kuvissa 42-47 ja Majoossa kuvissa 48-53.

Urimo, Bitumistabilointi 1
 Routanousu talvella 1996-97


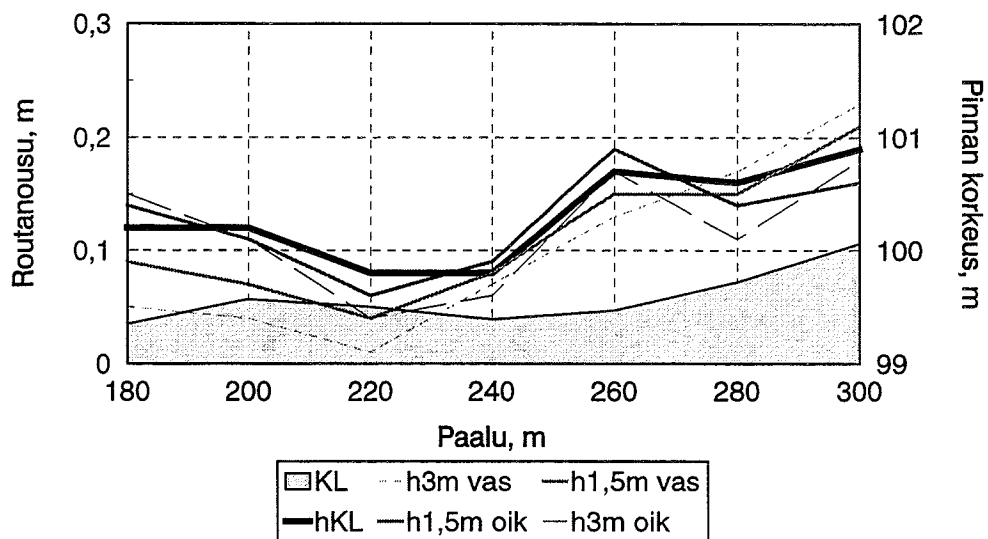
Kuva 42. Urimo, Bitumistabilointi 1. Pinnan routanousu keväällä 1997.

 Urimo, Bitumistabilointi 1
 Routanousu 18.3.1998


Kuva 43. Urimo, Bitumistabilointi 1. Pinnan routanousu keväällä 1998.

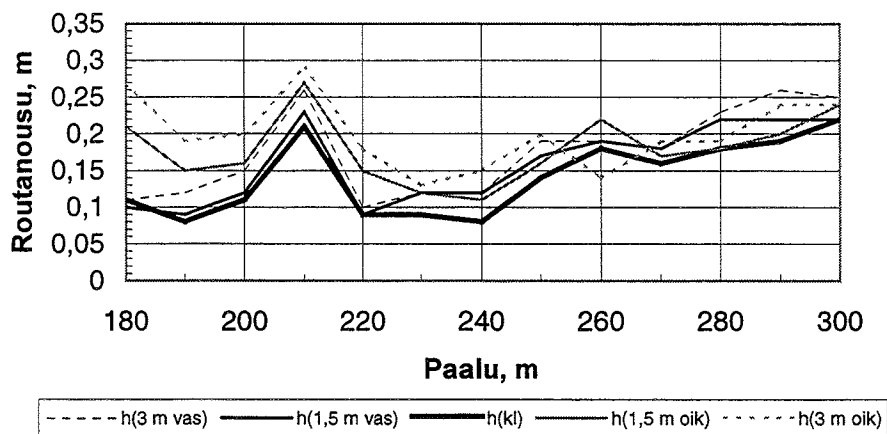
Urimon bitumistabilointiosuuden alkupäässä, paalulle noin 100, rakenteen alla havaittiin turvetta, joka lienee vaikuttanut pienentävästi routanousuun. Loppupäässä tie nousee moreenille, jonka routivuus on huomattavasti suurempi.

Urmo, Raudoitettu murske
Routanousu 1.4.1997

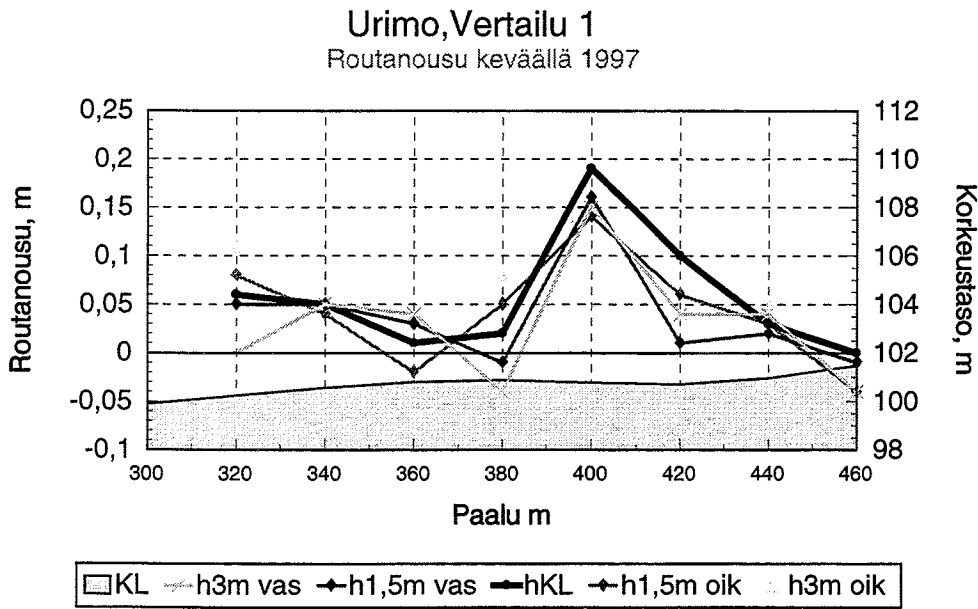


Kuva 44 Urmo, Raudoitettu murske 1. Routanousu keväällä 1997.

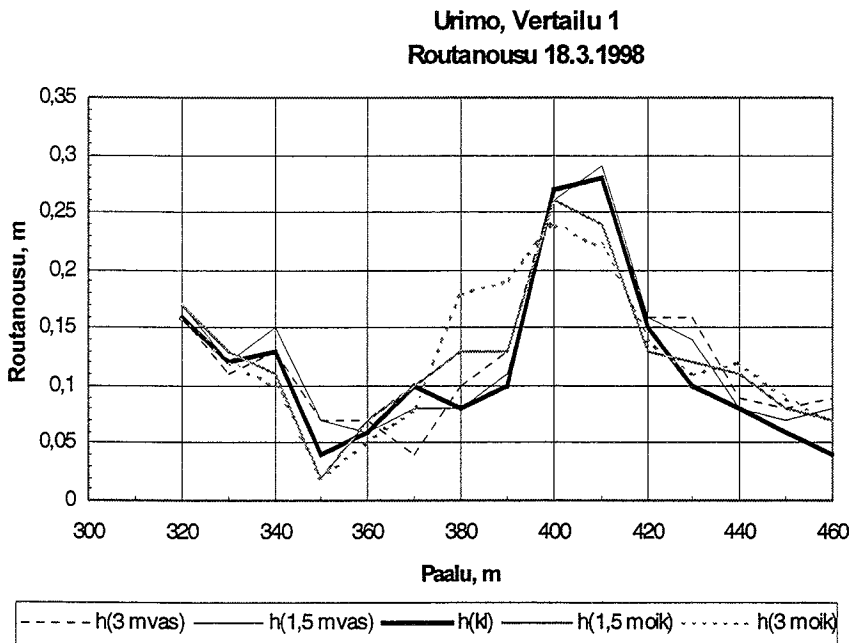
Urmo, Raudoitettu murske 1
Routanousu 18.3.1998



Kuva 45. Urmo, Raudoitettu murske 1. Routanousu keväällä 1998.

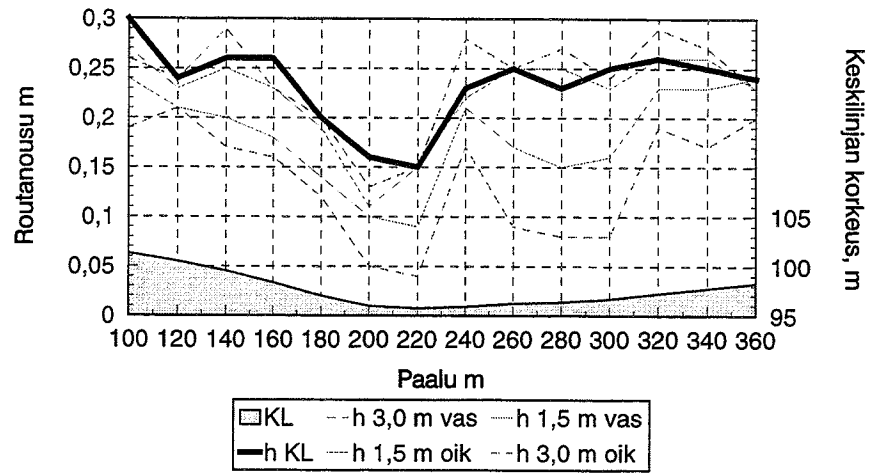


Kuva 46. Urimo, Vertailu 1. Routanousu keväällä 1997.



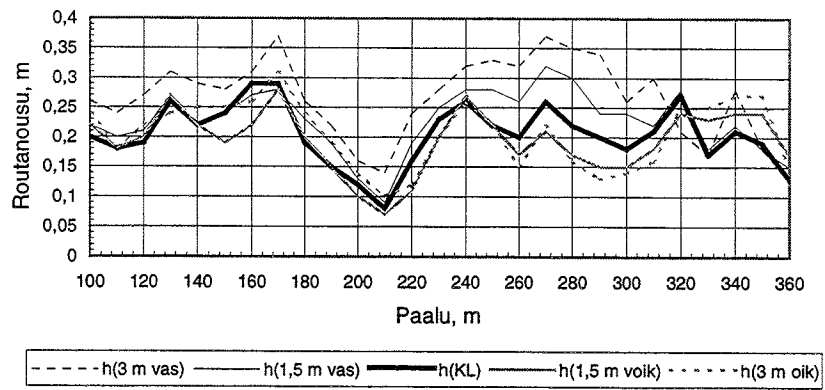
Kuva 47. Urimo, Vertailu 1. Routanousu keväällä 1998.

Majoo, Bitumistabilointi 2
Routanousu talvella 1996-97

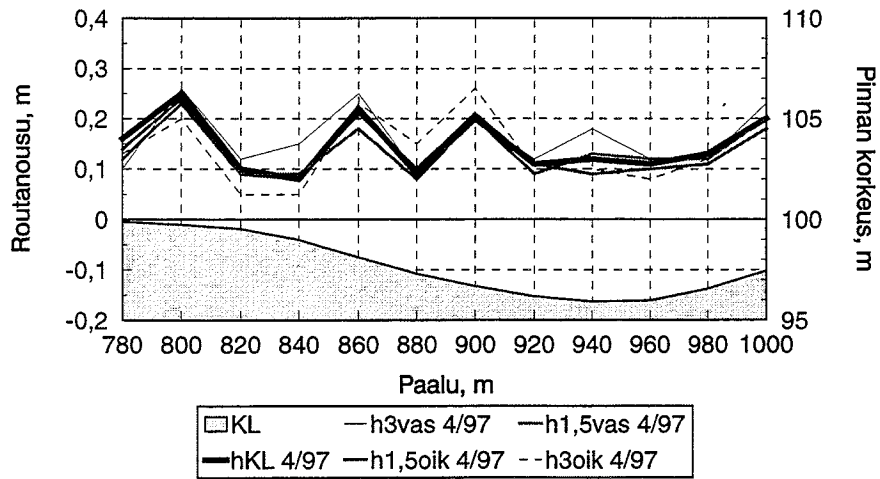


Kuva 48. Majoo, Bitumistabilointi 2. Routanousu keväällä 1997.

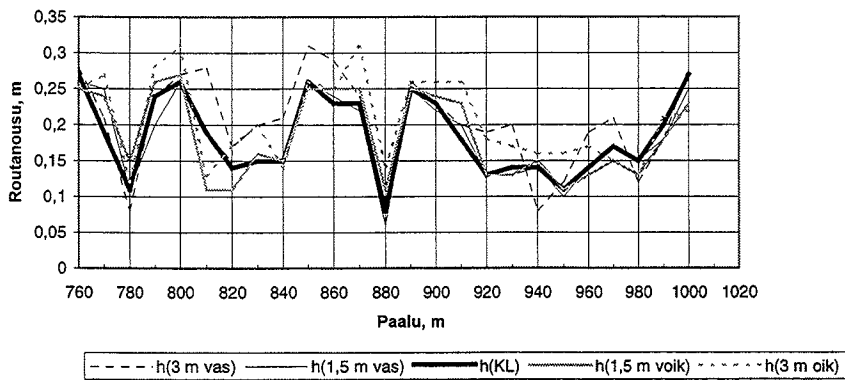
Majoo, Bitumistabilointi 2
Routanousu 18.3.1998



Kuva 49. Majoo, Bitumistabilointi 2. Routanousu keväällä 1998.

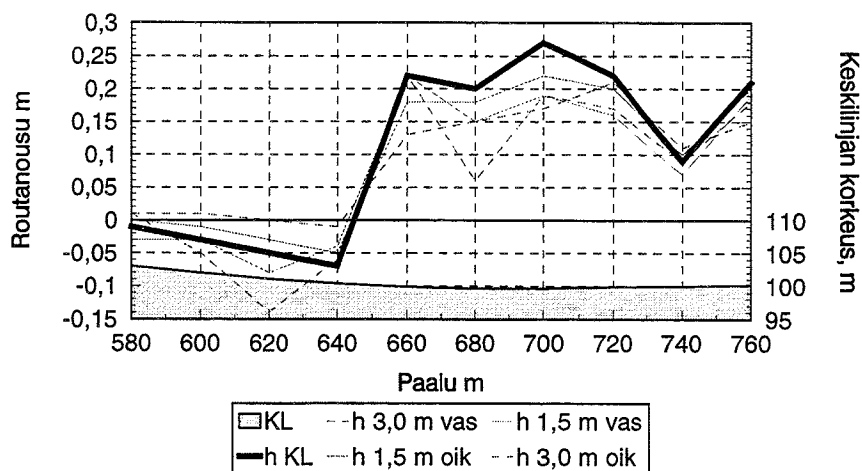
Majoo, Raudoitettu murske 2
Routanousu 1.4.1997

Kuva 50. Majoo, Raudoitettu murske 2. Routanousu keväällä 1997.

Majoo, Raudoitettu murske 2
Routanousu 18.3.1998

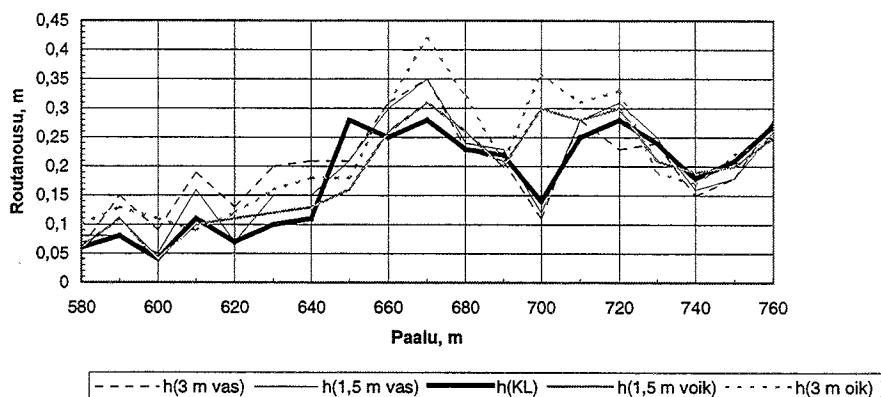
Kuva 51. Majoo, Raudoitettu murske 2. Routanousu keväällä 1998.

Majoo, Majoo, Vertailu 2
Routanousu talvella 1996-97



Kuva 52. Majoo, Vertailu 2. Routanousu keväällä 1997.

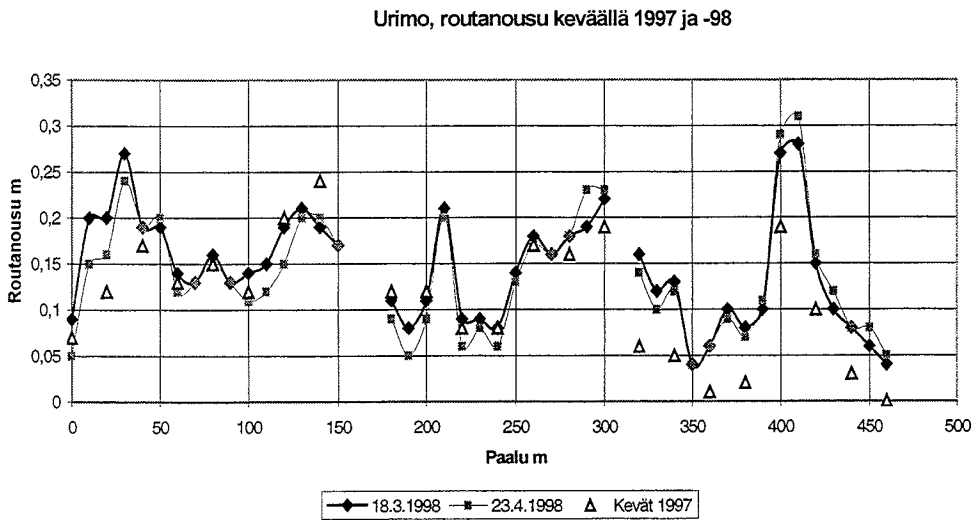
Majoo, Vertailu 2
Routanousu 18.3.1998



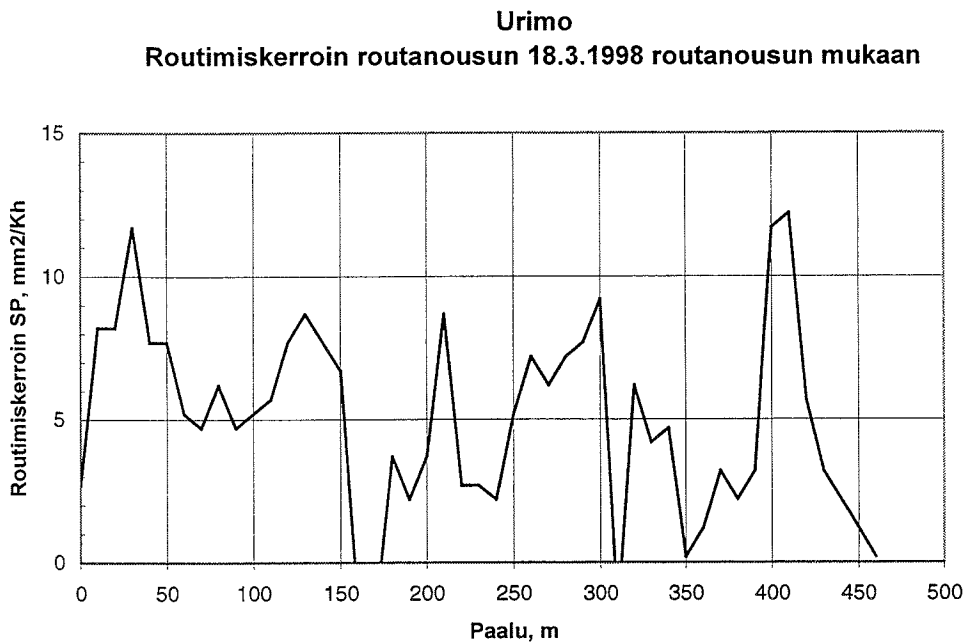
Kuva 53. Majoo, Vertailu 2. Routanousu keväällä 1998.

5.4.3 Routanousprofiilien vertailu

Kuvissa 54 ja 56 on esitetty Urimon ja Majaan osuuskien routanousuprofiilit keväällä 1997 ja 1998 sekä arvio alusrakenteen routanousukertoimen vaihtelusta (kuvat 55 ja 57). Routimiskerroin laskettiin ottaen huomioon rakenteen paksuus, talven pakkasmäärä ja mitattu routanousu (vrt. Saarelainen & Kivikoski 1997).

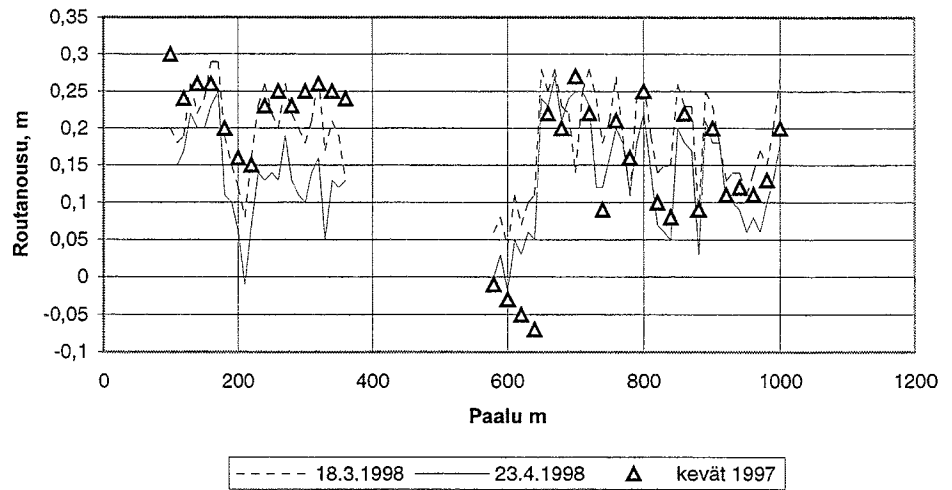


Kuva 54. Urimo. Keskilinjän routanousuprofiili keväällä 1997 ja 1998.

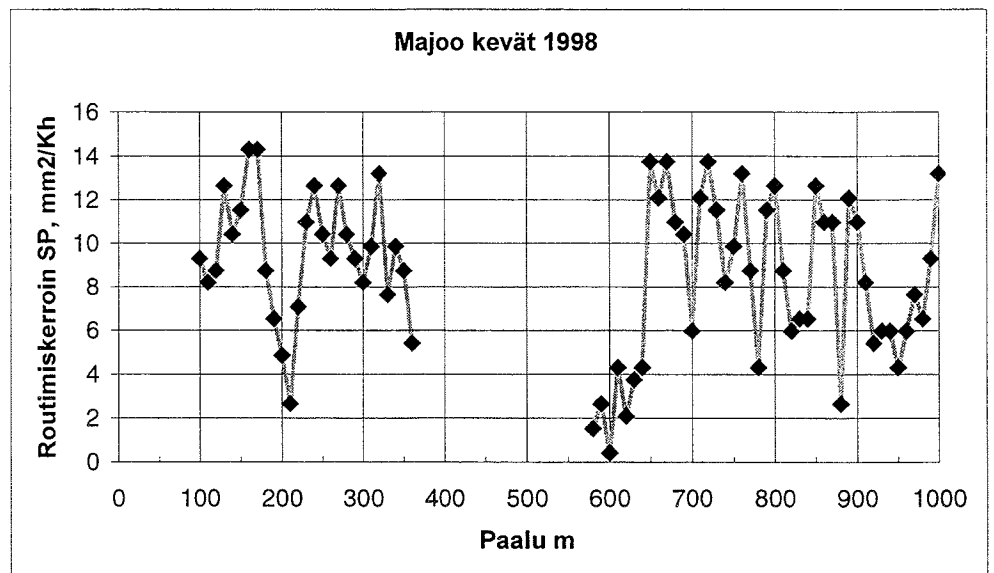


Kuva 55. Urimo. Keskilinjän routanousun perusteella arvioitu alusrakenteen routanousukertoimen SP vaihtelu.

Majoo, keskilinjän routanousu keväällä 1997 ja 1998



Kuva 56. Majoo. Keskilinjän routanousuprofiili keväällä 1997 ja 1998.



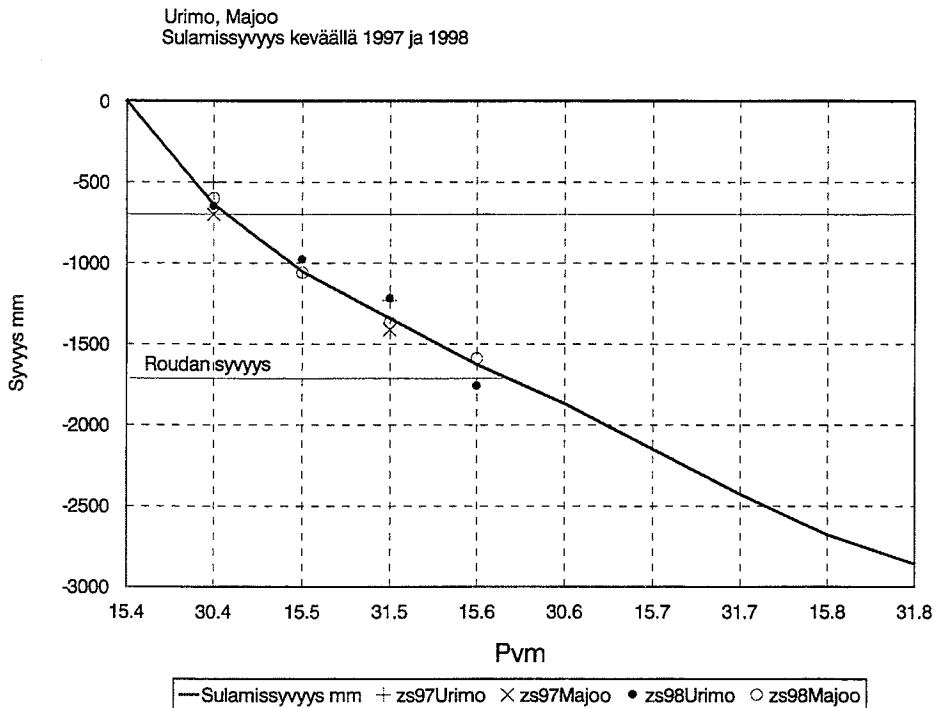
Kuva 57. Majoo. Keskilinjän routanousun perusteella arvioitu alusrakenteen routanousukertoimen SP vaihtelu.

Sekä Urimossa että Majoossa routanousu oli molempina havaintotalvina samoissa paikoissa samansuuruinen. Routimiskerroin oli Urimossa keskimäärin noin $5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$ ja suurimmat arvot noin $12 \text{ mm}^2/\text{Kh}$. Majoossa routimiskerroin oli keskimäärin $8\text{-}10 \text{ mm}^2/\text{Kh}$ ja suurimmat arvot noin $14 \text{ mm}^2/\text{Kh}$. Routimiskertoimen vaihtelu oli merkittävää.

5.4.4 Sulamishavainnot

Sulamishavainnot esitettiin kuvissa 37-40. Niitä on kuvattu suhteessa ilmastotietojen (lämpöastesumman) perusteella arvioituun kuvassa 58.

Kuvan mukaan havaittu sulamissyvyyden kasvu kalenteriajassa vastasi varsin hyvin lämpöastesumman perusteella arvioitua. Koska lämpöastesumman kehitys vaihtelee varsin vähän vuodesta toiseen, lienee laadittu sulamiskäyrä varsin vakio Leppävirran alueen tavanomaisissa soratierakenteissa.



Kuva 58. Leppävirta, Urimo ja Majoo. Lämpöastesumman perusteella arvioitu sulamissyvyys ja sulamishavainnot keväällä 1997 ja 1998.

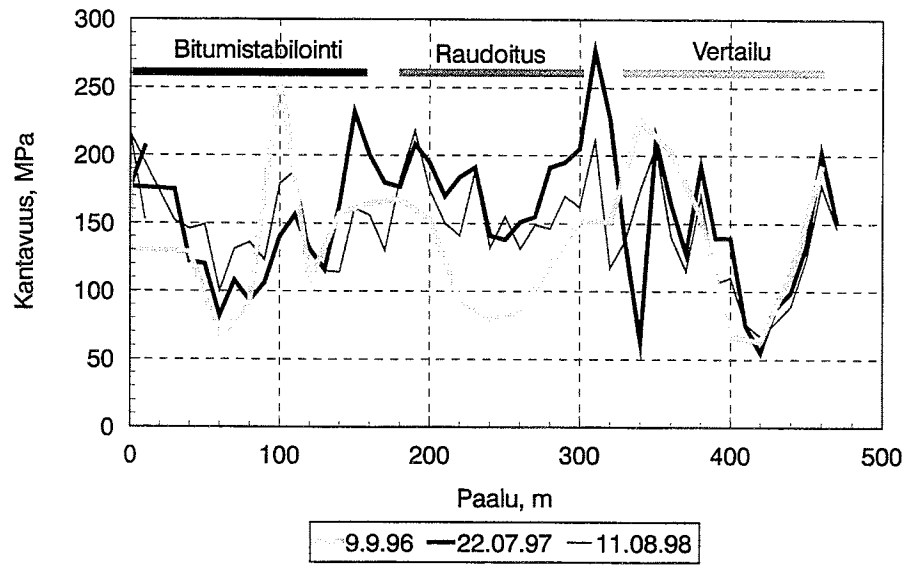
Sulamiskaudella mitattiin sulamissyvyyden kehitystä, sulamispainumista, pinnan kantavuutta koerakenteilla sekä pohjavedenpinnan tasoa. Edelleen mitattiin pinnan kantavuuden kehittymistä sulamisaikana ja sulamisen jälkeisellä jälkikuivumis-kaudella. Savisoran pinnan tasaisuutta mitattiin sulamisen alkaessa, sulamisaikana ja kesällä savisoran kulumisen ja kunnostustarpeen arvioimiseksi.

5.5 Kantavuusmittaukset

5.5.1 Kesä- ja kevätkantavuus

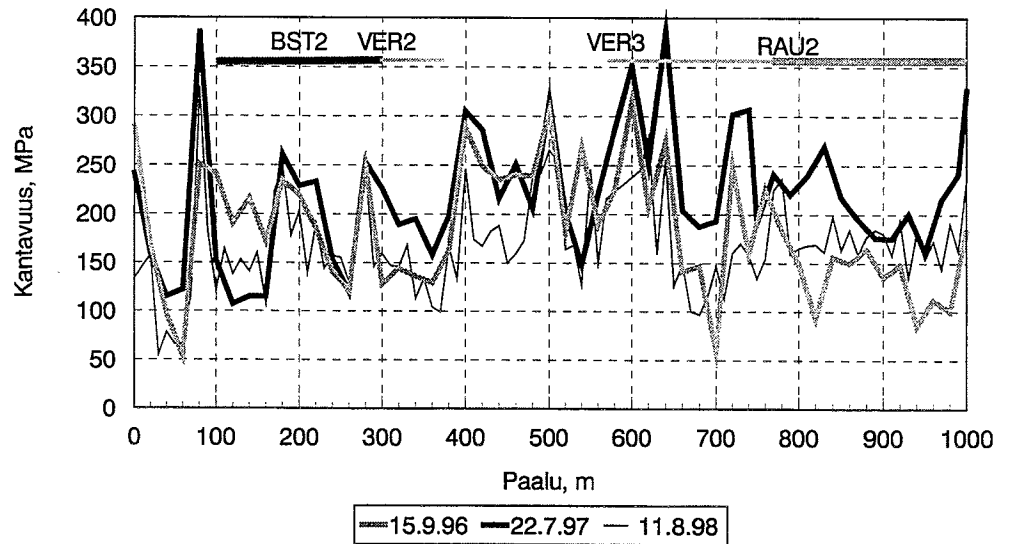
Kantavuusmittaukset tehtiin Tiepiirin KUAB-laitteella. Kuvissa 59 ja 60 on esitetty osuuskien kesäkantavuusprofiilit kaistan keskellä ennen parantamista syksyllä 1996, keuhällä 1997 ja 1998 sekä kuvissa 61 ja 62 keuhkantaavuusprofiilit kesäkuussa 1997 ja 1998.

Urmo, Koeosuuksien pinnan kesäkantavuudet

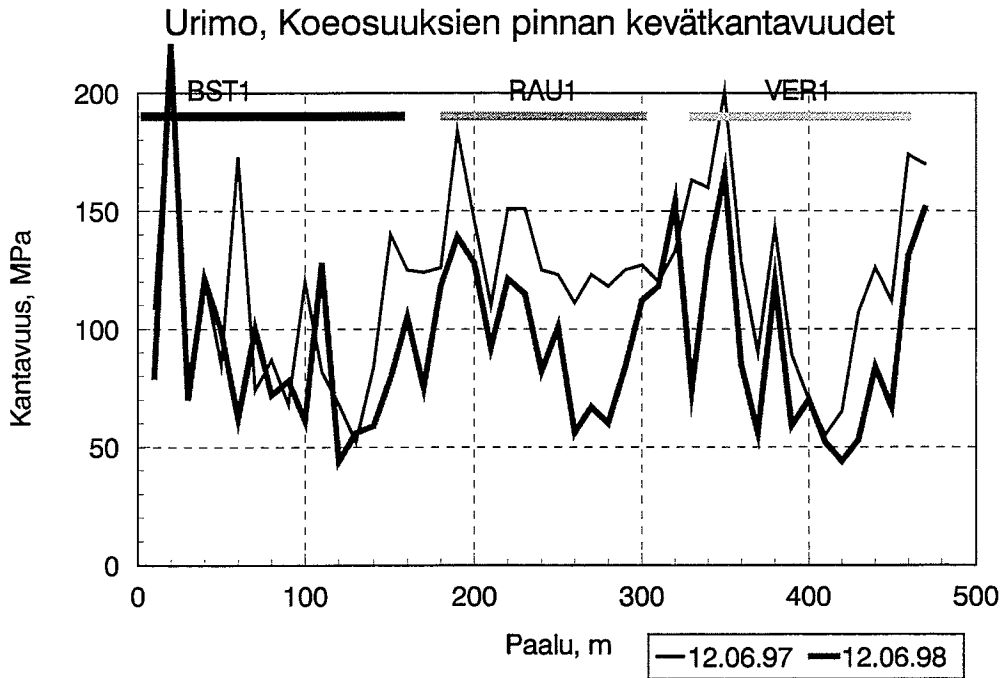


Kuva 59. Urmo. Kesäkantavuus koeosuuksilla, syksy 1996, kesä 1997 ja 1998.

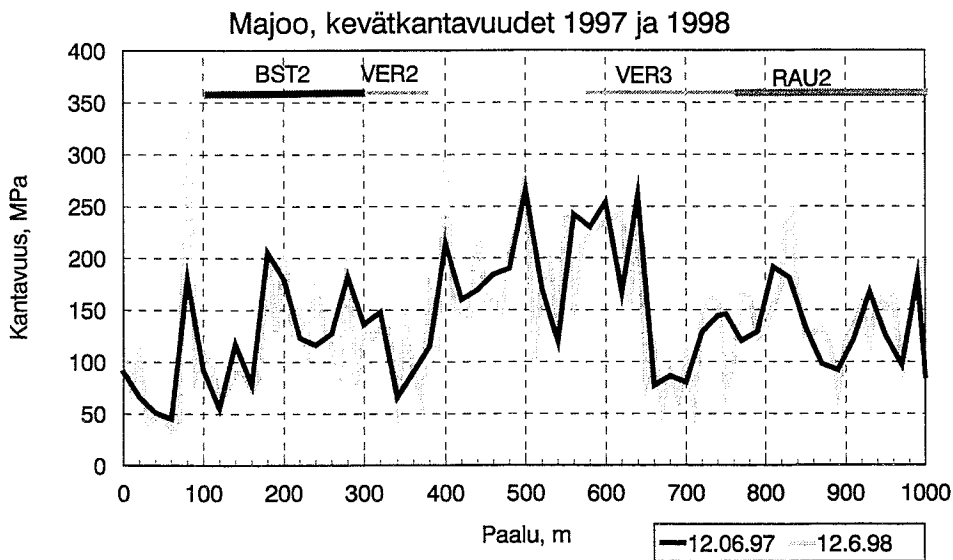
Majoo, kesäkantavuudet 1997 ja 1998



Kuva 60. Majoo. Kesäkantavuus koeosuuksilla, syksy 1996, kesä 1997 ja kesä 1998.



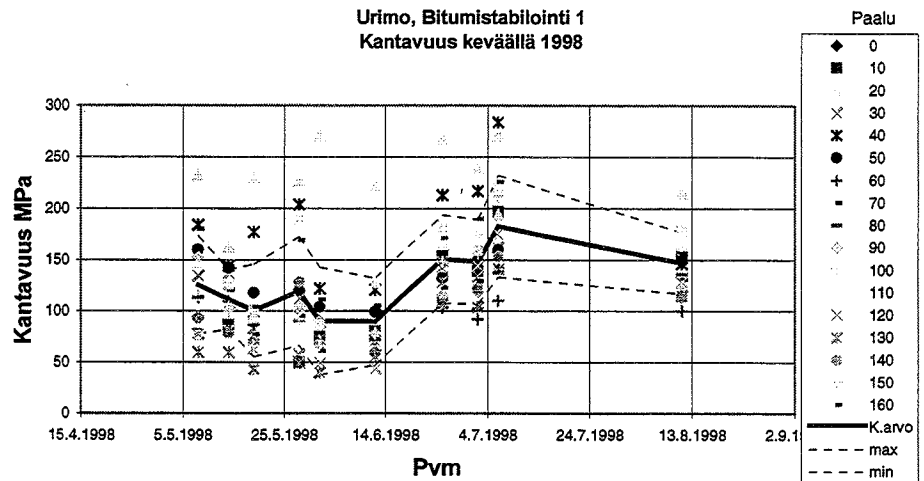
Kuva 61. Urimo. Kevätkantavuus koeosuuksilla, kevät 1997 ja 1998.



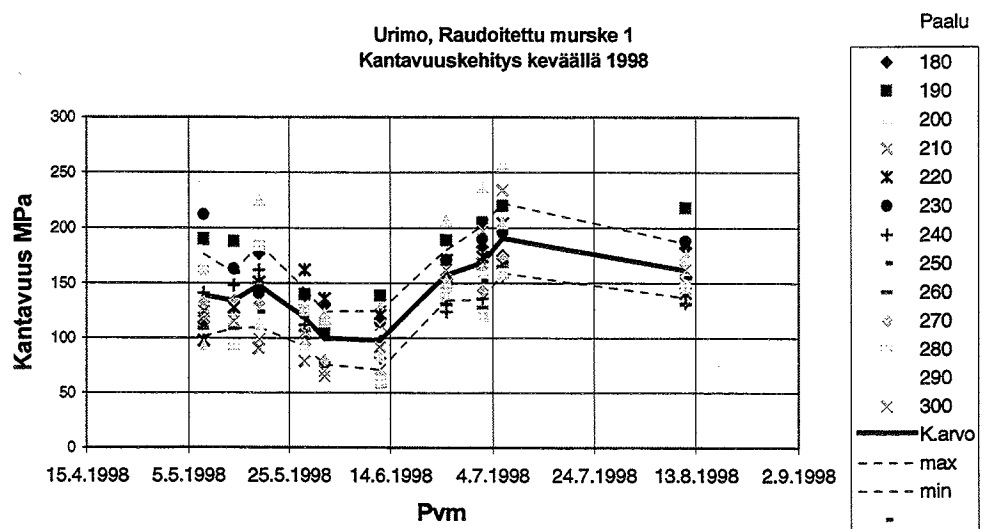
Kuva 62. Majoo. Kevätkantavuus koeosuuksilla, kevät 1997 ja 1998.

5.5.2 Kantavuus kelirikkoaikana

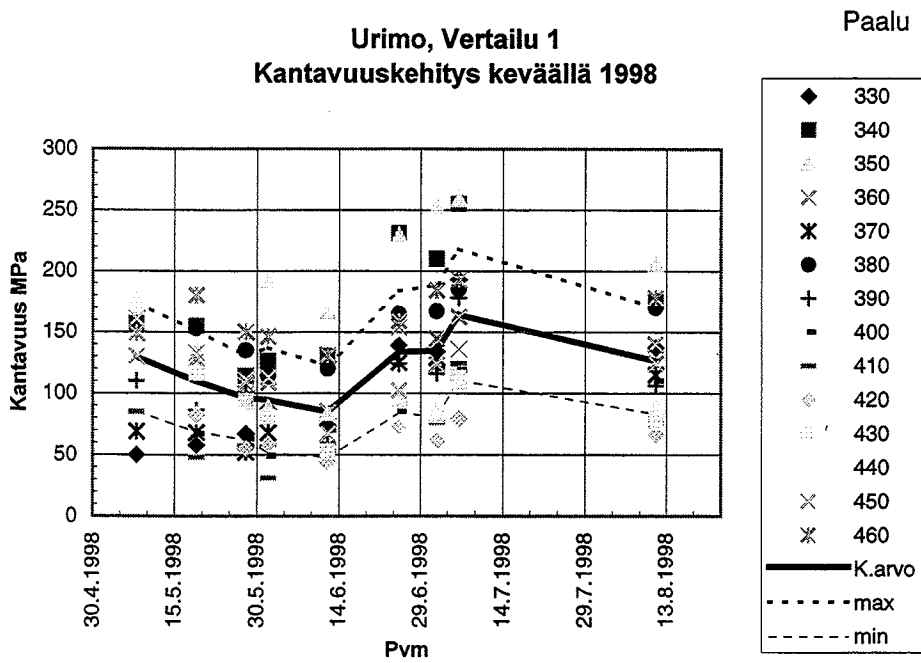
Kantavuuden muuttumista keväällä 1998 on esitetty koeosuuksien tutkimuspisteissä kuvissa 63-65 (Urimo) ja kuvissa 66-69 (Majoo). Niiden mukaan pienin kantavuus ilmeni suunnilleen sulamisen päättymisvaiheessa.



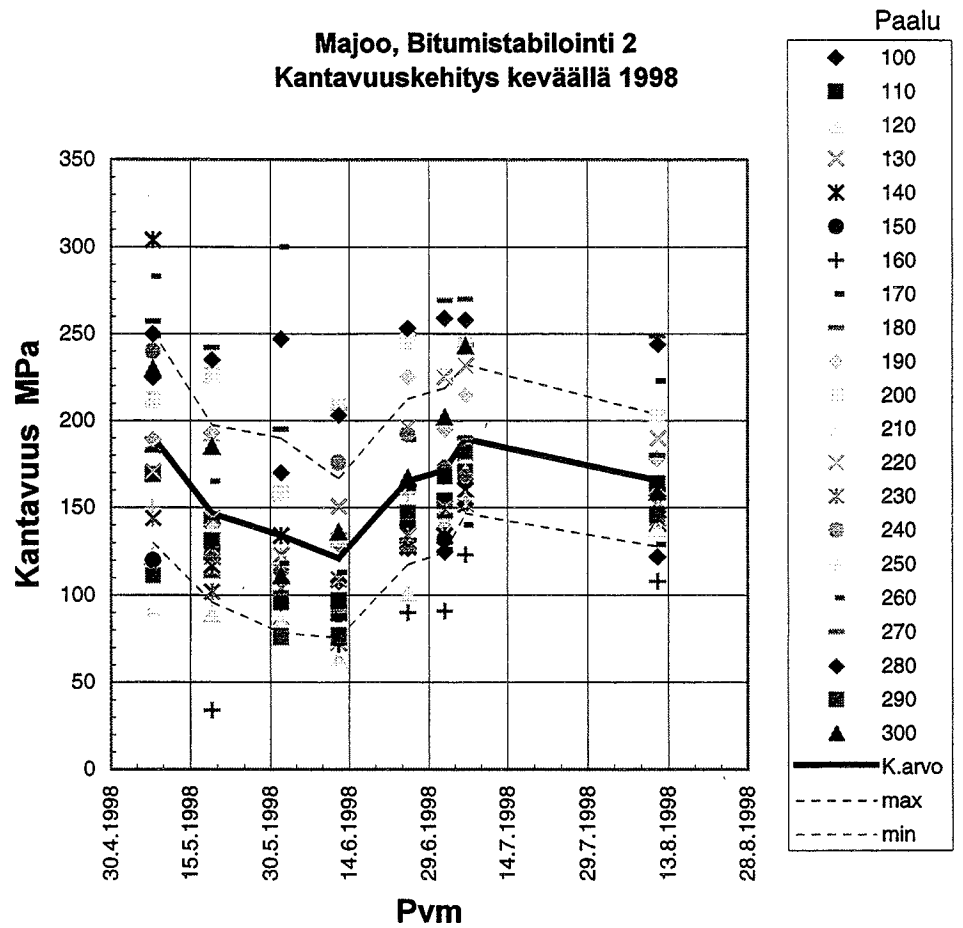
Kuva 63. Urimo, Bitumistabilointi 1. Kantavuuskehitys keväällä 1998. Merkit vastaavat eri paaluilla tehtyjä mittauksia. Keskiarvo on koeosuuden kantavuuskeskiarvo mittausajankohtana. Maksimi ja minimi kuvaavat keskihajonnan etäisyydellä olevia arvoja.



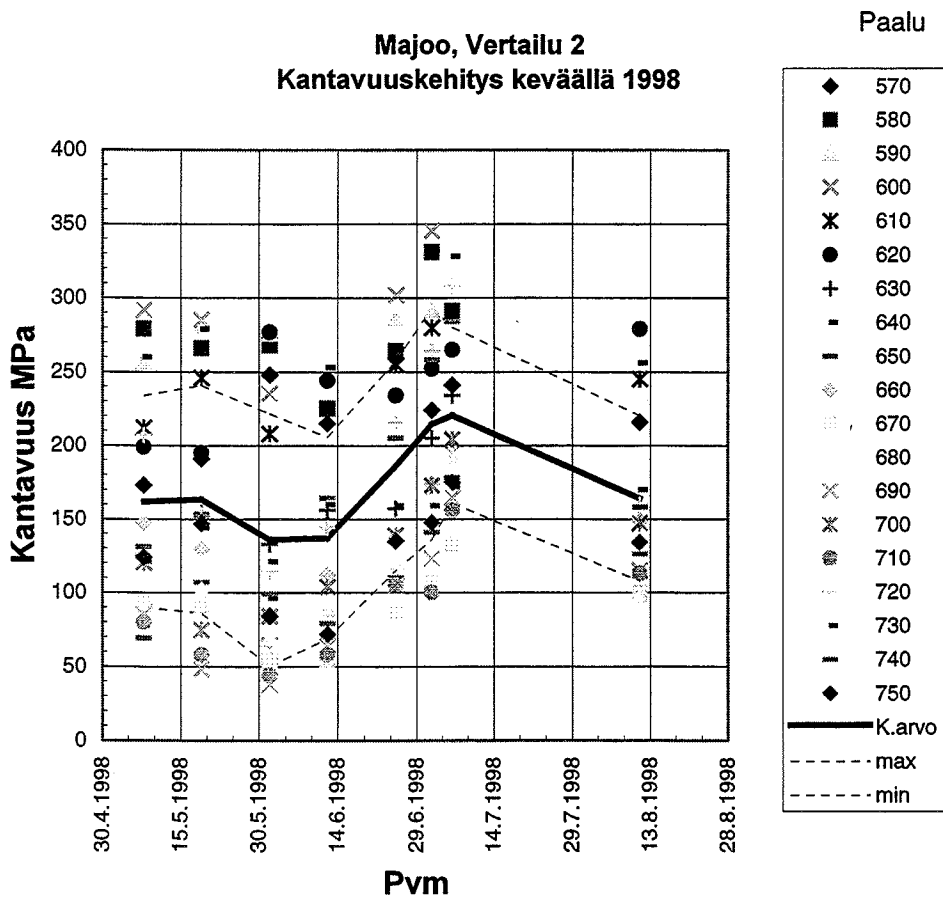
Kuva 64. Urimo, Raudoitettu murske 1. Kantavuuskehitys keväällä 1998. Merkit vastaavat eri paaluilla tehtyjä mittauksia. Keskiarvo on koeosuuden kantavuuskeskiarvo mittausajankohtana. Maksimi ja minimi kuvaavat keskihajonnan etäisyydellä olevia arvoja.



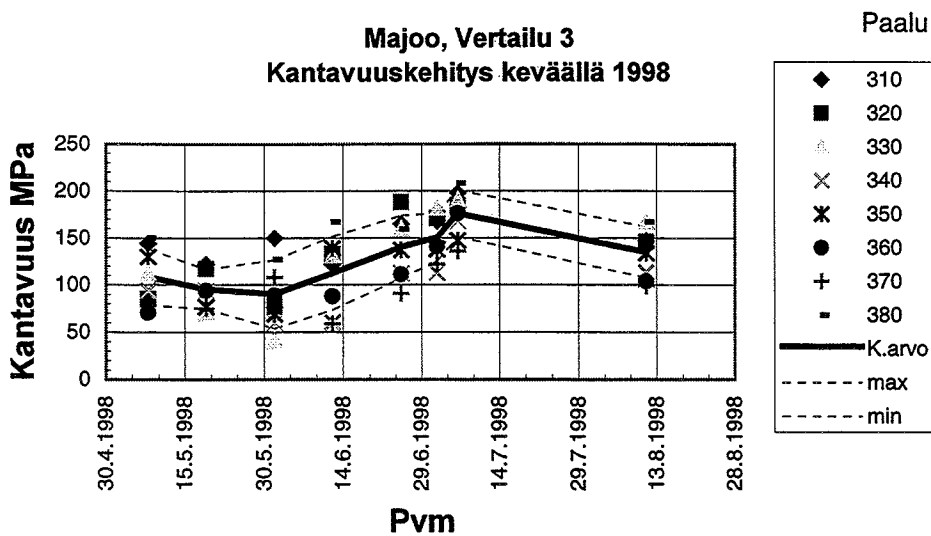
Kuva 65. Urimo, Vertailu 1. Kantavuuskehitys keväällä 1998. Merkit vastaavat eri paaluilla tehtyjä mittauksia. Keskiarvo on koeosuuden kantavuuskeskiarvo mittausajankohtana. Maksimi ja minimi kuvaavat keskihajonnan etäisyydellä olevia arvoja.



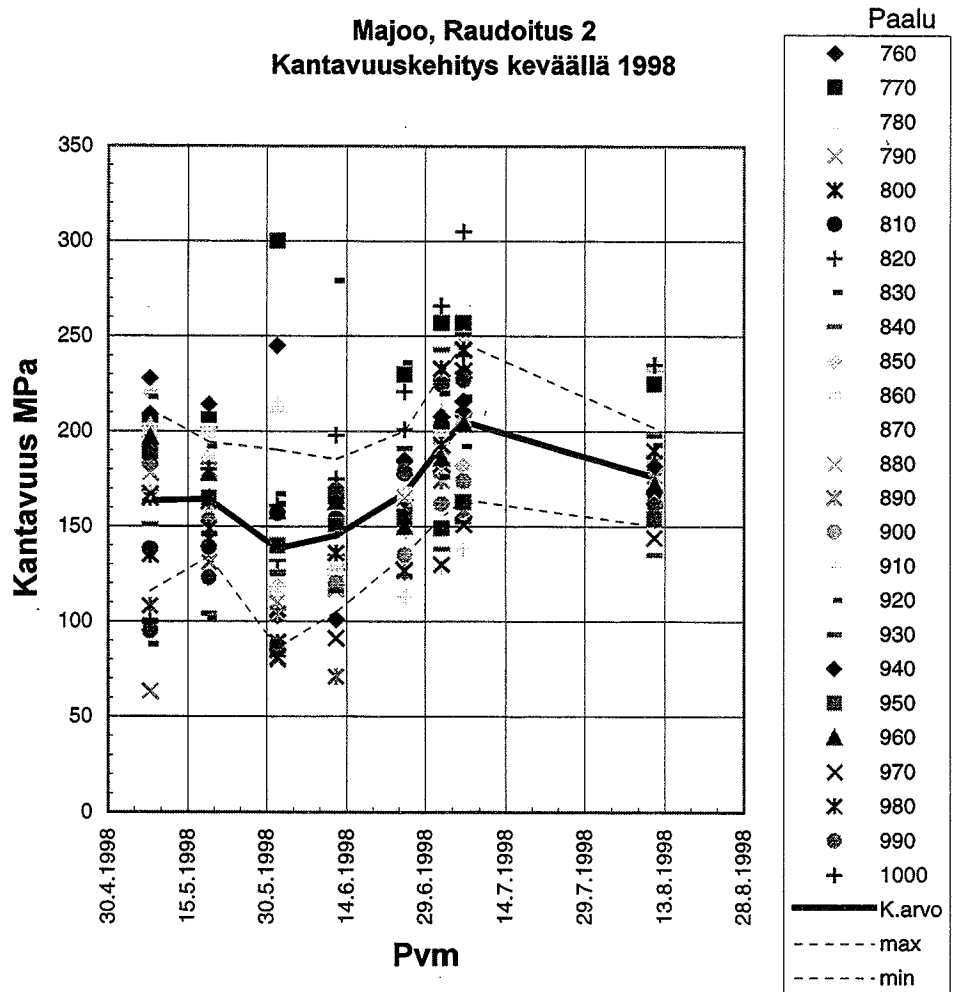
Kuva 66. Majoo, Bitumistabilointi 2. Kantavuuskehitys keväällä 1998. Merkit vastaa-vat eri paaluilla tehtyjä mittauksia. Keskiarvo on koeosuuden kantavuus-keskiarvo mittausajankohtana. Maksimi ja minimi kuvaavat keskihajonnan etäisyydellä olevia arvoja.



Kuva 67. Majoo, Vertailu 2. Kantavuuskehitys keväällä 1998. Merkit vastaavat eri paaluilla tehtyjä mittauksia. Keskiarvo on koeosuuden kantavuuskeskiarvo mittausajankohtana. Maksimi ja minimi kuvaavat keskihajonnan etäisyydellä olevia arvoja.



Kuva 68. Majoo, Vertailu 3. Kantavuuskehitys keväällä 1998. Merkit vastaavat eri paaluilla tehtyjä mittauksia. Keskiarvo on koeosuuden kantavuuskeskiarvo mittausajankohtana. Maksimi ja minimi kuvaavat keskihajonnan etäisyydellä olevia arvoja.

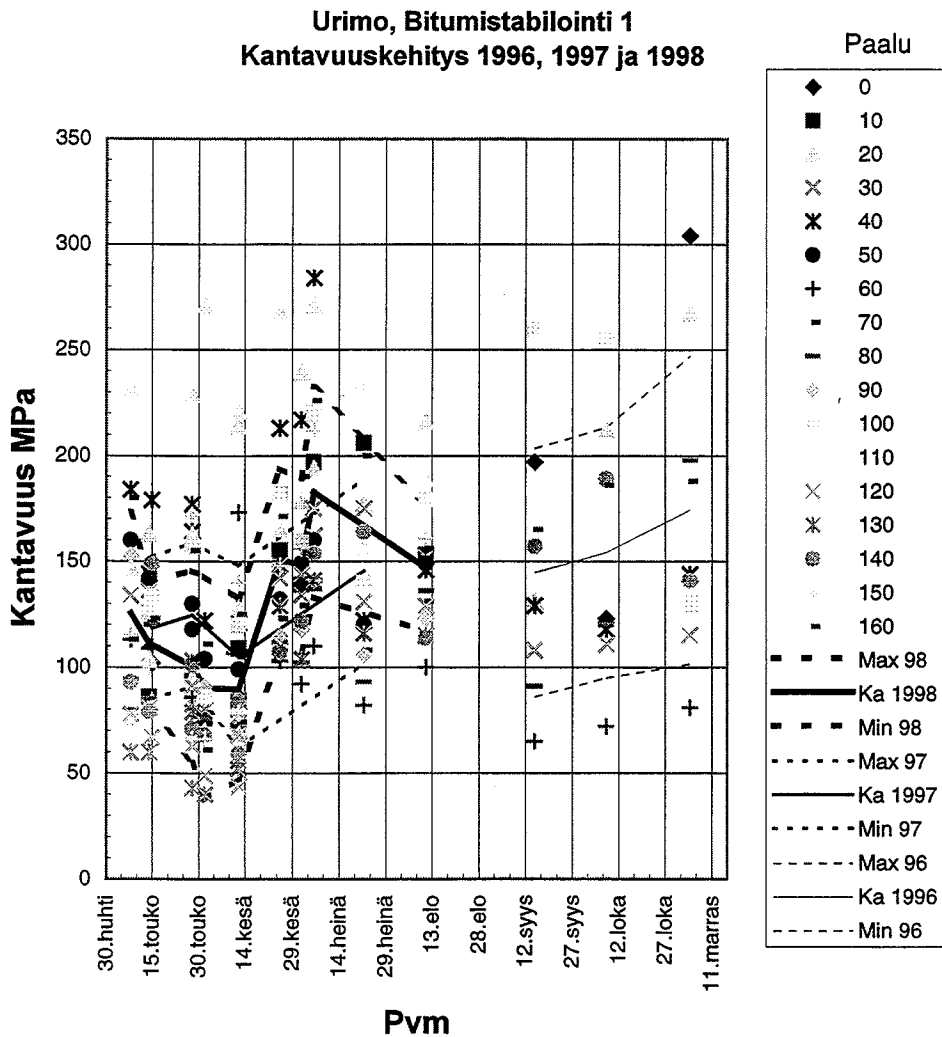


Kuva 69. Majoo, Raudoitettu murske 2. Kantavuuskehitys keväällä 1998. Merkit vastaavat eri paaluilla tehtyjä mittauksia. Keskiarvo on koeosuuden kantavuuskeskiarvo mittausajankohtana. Maksimi ja minimi kuvaavat keskihajonnan etäisyydellä olevia arvoja.

Havaitut minimikantavuudet olivat hiukan (Bitumistabilointi, Vertailu) tai huomattavasti (Raudoitus) suurempia kuin arvioidut minimikantavuudet.

5.5.3 Kantavuuden muuttuminen vv. 1996-98

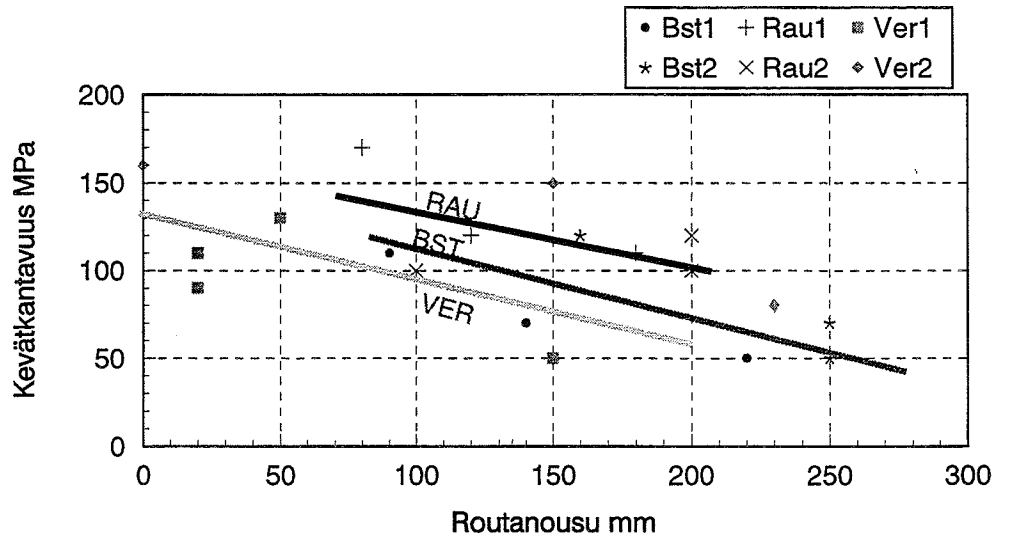
Kantavuuden kausivaihtelua koko havaintojalla alkaen ennen rakentamista (syyskuu 1996), rakentamisen jälkeen syksyllä 1996 sekä kesällä 1997 ja 1998 on esitetty kuvassa 70. Mittausten mukaan rakentamisen jälkeen kantavuus kasvoi. Keväällä kantavuusminimi ajoittui kesäkuun alkupuolelle, alusrakenteen sulamisen loppuvaiheeseen sekä keväällä 1997 että 1998.



Kuva 70. Urimo, Bitumistabilointi 1. Kevät- ja kesäkantavuuden kehitys aikavälillä syksy 1996 - kesä 1998. Merkit vastaavat eri paaluilla tehtyjä mittauksia. Keskiarvo on koeosuuden kantavuuskeskiarvo mittausajankohtana. Maksimi ja minimi kuvaavat keskihajonnan etäisyydellä olevia arvoja.

5.5.4 Routanousu - kevätkantavuus

Verrattaessa tasaisesti routineilla osuuksilla keväällä 1997 kevätkantavuuden pienimmän arvon ja routanousun vuorosuhdetta (kuva 71) havaittiin, että routanousutason kasvaessa pienin kevätkantavuus aleni. Saman routanousun vallitessa raudoitettun koerakenteen kantavuus oli suhteessa korkeampi kuin stabiloidun rakenteen tai vertailurakenteen. Vastaava vuorosuhde oli havaittavissa keväällä 1998, mutta ei niin selvänä.



Kuva 71. Routanousun ja pienimmän kevätkantavuuden vuorosuhde kevään 1997 havaintojen mukaan.

Routanousun vaikutuksen kevätkantavuuteen voidaan arvioida syntyvän useammasta syystä. Ensiksikin, routivammilla pohjilla sulavassa maassa on enemmän jätää, jolloin pehmeneminen saattaa olla voimakkaampaa kuin vähemmän routivilla pohjilla.

Toiseksi, routanousun epätasaisuus kasvaa yleensä routanousun kasvaessa, jolloin päällysrakenne pehmenee enemmän. Kantavuus on keväällä tällöin alempi rakenteen heikkenemisen vuoksi..

Alusrakenteen kevätkantavuus paranee, jos

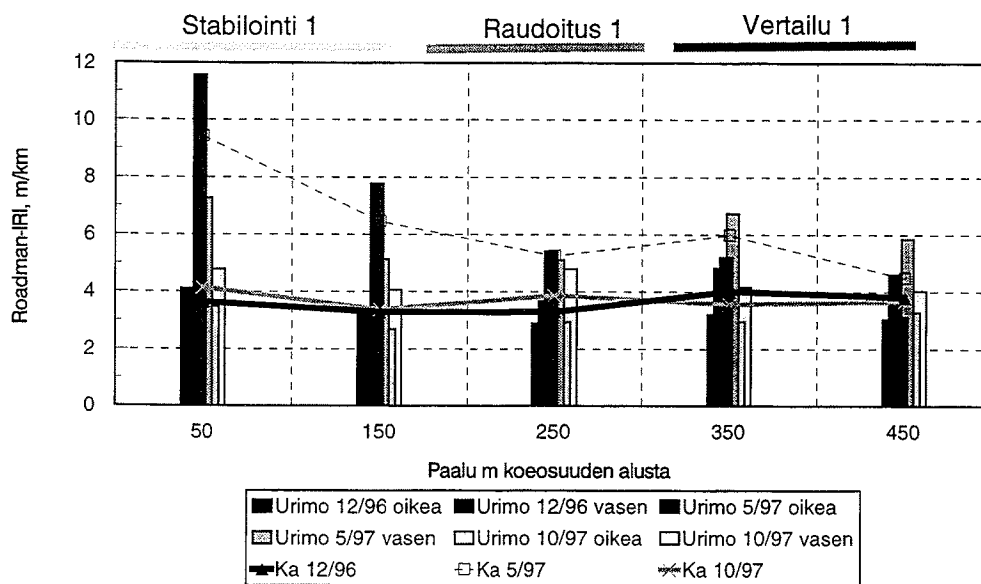
- routineen kerroksen paksuus pienenee
- sulaneen kerroksen vedenjohtavuus paranee
- routineen kerroksen routiminen pienenee
- sulamisnopeus pienenee

Näihin tekijöihin voidaan tietä rakennettaessa tai peruskorjattaessa vaikuttaa mm. pohjamaan stabiloinnilla ja muokkauksella tai päällysrakenteen routasuojausta parantamalla. Routasuojausta voidaan parantaa routimatonta päällysrakennetta paksuntamalla tai lämpöeristäen. Olemassa olevan tien kulkukelpoisuuteen voidaan vaikuttaa rakennetta vahvistamalla. Myös kuivatuksen tehostaminen vähentänee routimista ja parantanee rakenteen kuivumista sulamisaikana ja sen jälkeen.

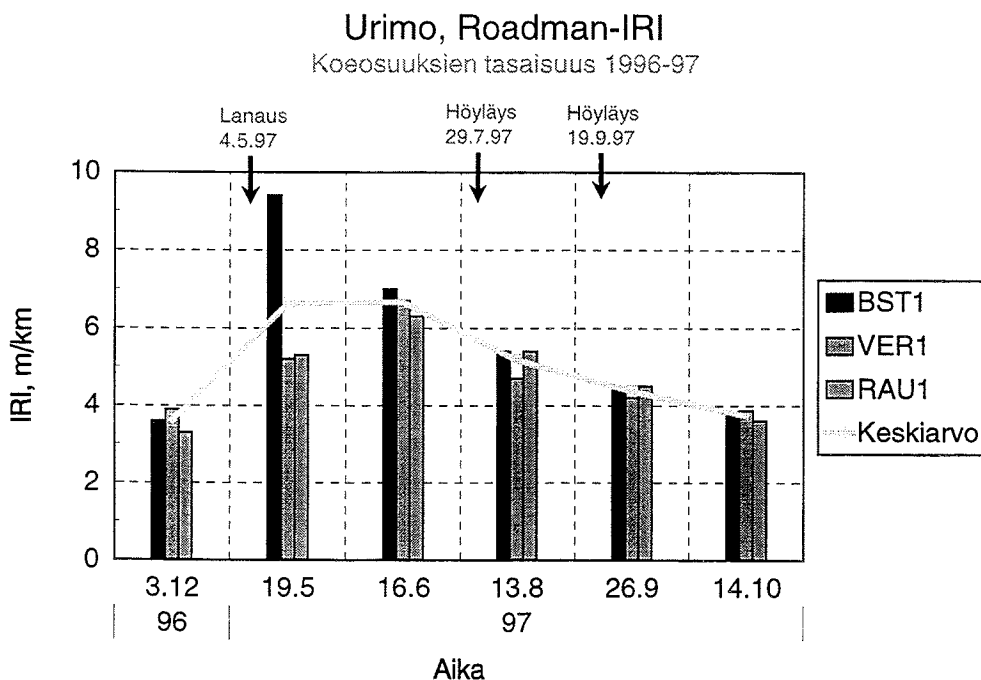
5.6 Tasaisuus

Tasaisuus mitattiin Roadman-laitteistolla molempiin suuntiin, ja tuloksista laskettiin tasaisuusluku (Roadman-IRI) 100 metrin osuuksittain. Tavoitteena oli selvittää, miten epätasaisuus muuttuu routanousun vaikutuksesta ja edelleen, miten se muuttuu kesällä pinnan kulumisen/deformoitumisen myötä. Tasaisuusluku on esitetty koeosuuksittain kuvissa 72-77.

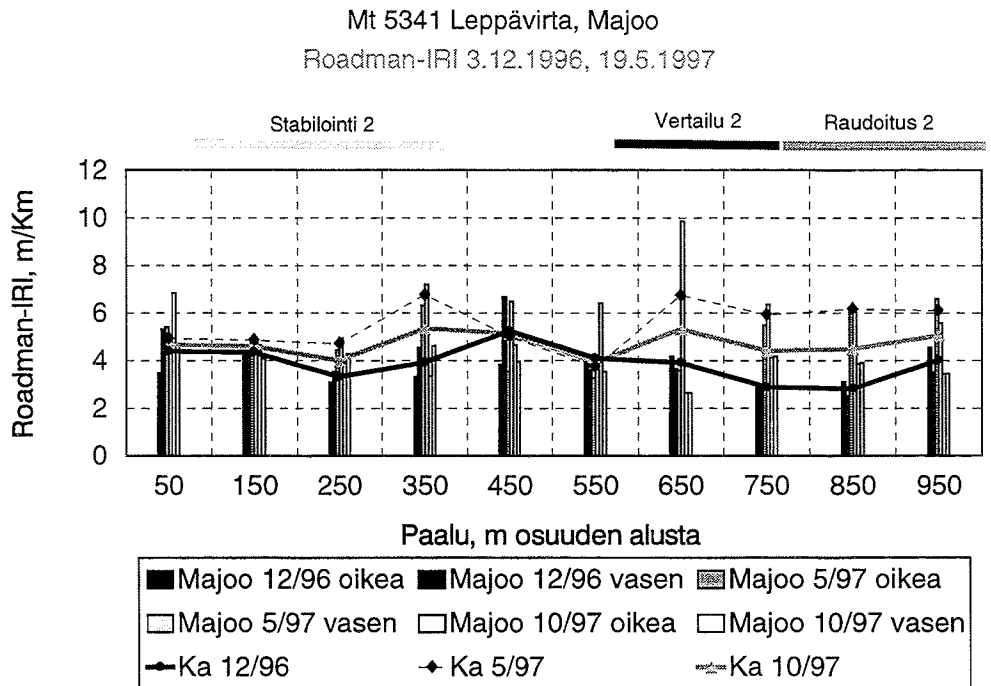
Mt. 5341 Leppävirta, Urimo
Roadman-IRI 3.12.1996, 19.5.1997



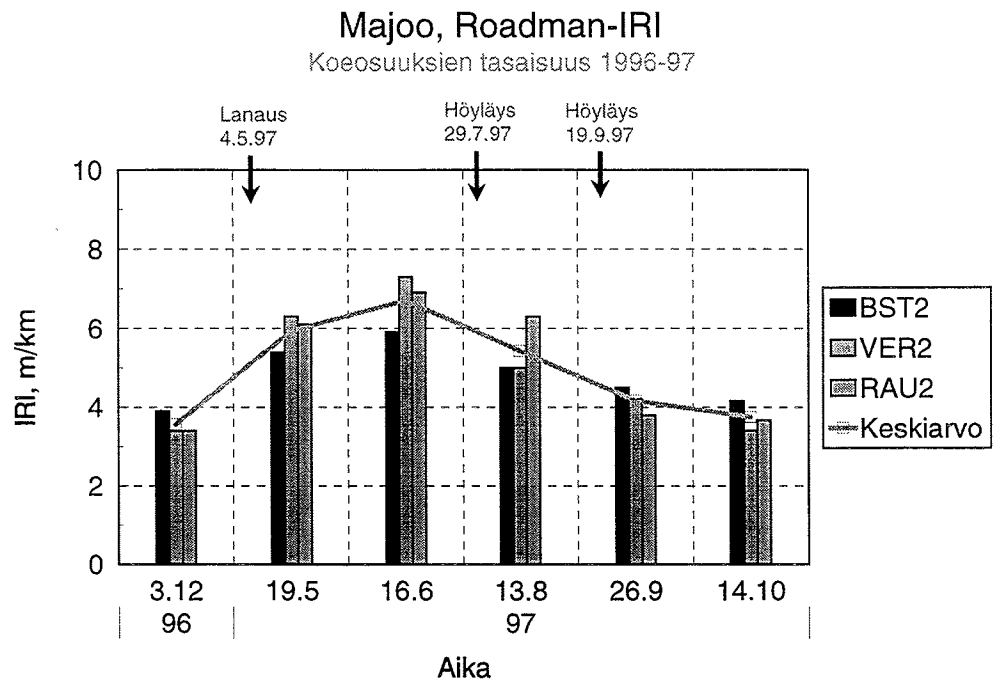
Kuva 72. Urimo. Roadman-IRI rakentamisen jälkeen ja keväällä 1997.



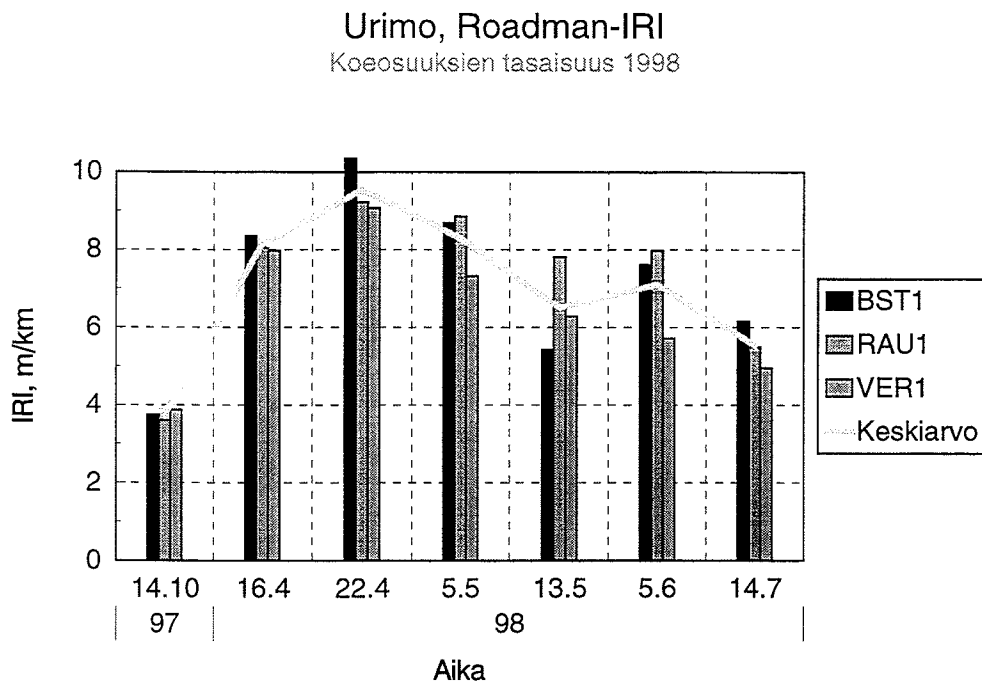
Kuva 73. Urimo. Roadman-IRI rakentamisen jälkeen ja kesällä 1997.



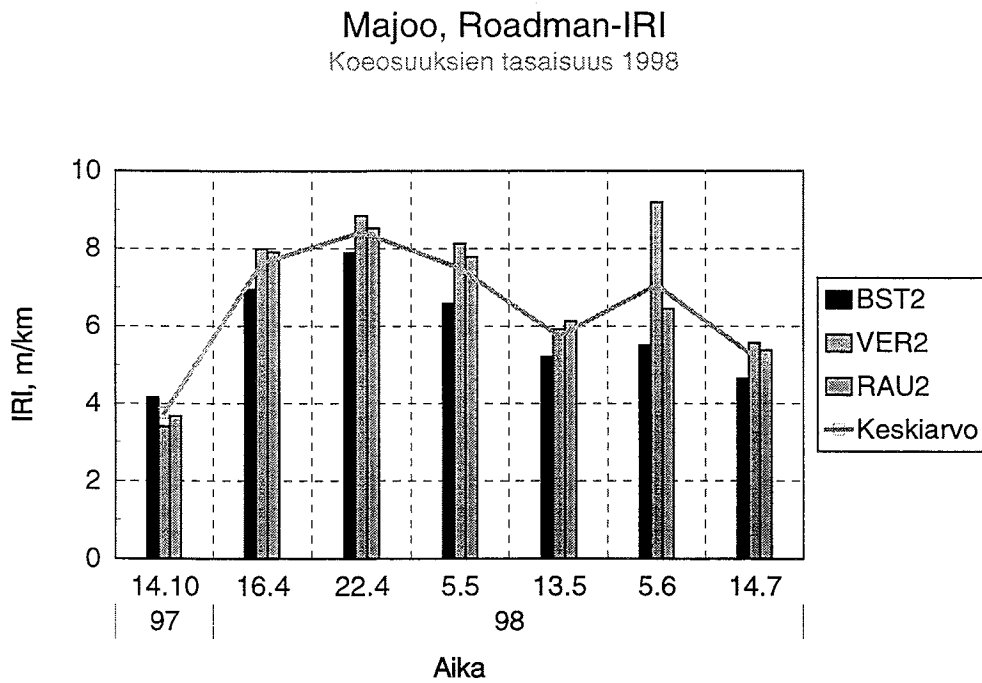
Kuva 74. Majoo. Roadman-IRI rakentamisen jälkeen ja keväällä 1997.



Kuva 75. Majoo. Roadman-IRI rakentamisen jälkeen ja kesällä 1997.



Kuva 76. Urimo. Roadman-IRI syksyllä 1997 ja keväällä 1998.



Kuva 77. Majoo. Roadman-IRI syksyllä 1997 ja keväällä 1998.

6 TULOSENTARKASTELU JA ANALYSOINTI

6.1 Bitumistabilointi

6.1.1 Routanousu

Keväällä 1997 keskilinjan routanousu Urimon osuudella vaihteli välillä 80-240 mm, ollen keskimäärin 150 mm. Routimiskerroin oli vastaavasti 5-15 mm²/Kh ja oli keskimäärin 9,5 mm²/Kh. Majoossa keskilinjan routanousu oli 150-300 mm, keskimäärin noin 250 mm. Routimiskerroin oli 10-17 mm²/Kh ja keskimäärin 14 mm²/Kh. Urimon osuudella kaistan keskellä routanousu oli 20-70 mm ja reunassa 0-100 mm pienempää kuin keskilinjalla. Majoossa kaistan keskikohdan routanousu oli 10-80 mm pienempää ja reunoilla 0-150 mm pienempää kuin keskilinjalla. Urimossa poikittainen kulmanmuutos oli 0,005-0,03, ja vallitsevasti yli 0,01. Majaan osuudella poikittainen kulmanmuutos oli 0,01-0,035 ja vallitsevasti noin 0,02. Näiden osuuksien päälystämisen ilman routasuojauksen parantamista johtaisi ilmeisesti merkittävään ja taajaan pituushalkeiluun.

Keväällä 1998 keskilinjan routanousu Urimon osuudella vaihteli välillä 100-270 mm, ollen keskimäärin 170 mm. Routimiskerroin oli vastaavasti 5-15 mm²/Kh ja keskimäärin 9 mm²/Kh. Majoossa keskilinjan routanousu oli 80-300 mm, keskimäärin noin 200 mm. Routimiskerroin oli 4-17 mm²/Kh ja keskimäärin 11 mm²/Kh. Urimossa poikittainen kulmanmuutos oli 0,005-0,03, ja vallitsevasti yli 0,01. Majaan osuudella poikittainen kulmanmuutos oli 0,00-0,02 ja vallitsevasti alle 0,01.

6.1.2 Kelirikkotilanne

Keväällä 1997 Savo-Karjalan tiepiirissä kelirikko oli painorajoitusten perusteella arvioituna poikkeuksellisen helppo. Koekohteissa voitiin havaita, että pienin kantavuus ilmeni mittausten mukaan kesäkuun puolivälissä, jolloin sulaminen oli päättymässä. Kantavuus parani heinäkuulla tasolle, joka vastasi likimäärin syksyllä, rakentamisen jälkeen mitattua.

Keväällä 1998 Savo-Karjalan tiepiirissä kelirikko oli painorajoitusten perusteella arvioituna suhteellisen vaikea. Painorajoitukset poistettiin eräiltä tieosilta vasta heinäkuun alkupuolella.

6.1.3 Kantavuus

Mitoituslaskemien perusteella arvioitiin Urimon osuuden pienimmäksi kevätkantavuudeksi 59 MPa, ja Majaan kevätkantavuudeksi 45 MPa. Urimossa kesäkantavuusarvio oli 80 MPa ja Majoossa 81 MPa.

Keväällä 1997 sulaminen päättyi koeosuuksilla kesäkuun puolivälissä. Urimon osuuden kantavuus ennen rakentamista oli 60-260 MPa, rakentamisen jälkeen 80-300 MPa, kesäkuussa 1997 50-170 MPa ja heinäkuussa 1997 80-200 MPa. Majaan osuudella mitattu kantavuus oli ennen rakentamista

100-330 MPa, rakentamisen jälkeen 60-400 MPa, kesäkuussa 1997 48-200 MPa ja heinäkuussa 1997 110-400 MPa.

Keväällä 1998 sulaminen päättyi koeosuuksilla kesäkuun puolivälissä. Kantavuus oli kesäkuussa 1998 40-250 MPa ja heinäkuussa 1998 110-250 MPa. Majaan osuudella mitattu kantavuus oli ennen rakentamista 100-330 MPa, rakentamisen jälkeen 60-400 MPa, kesäkuussa 1998 60-200 MPa ja heinäkuussa 1998 90-250 MPa.

Keväällä 1997 mitattu kevätkantavuus vastasi arvioitua molemmilla osuuksilla. Kesäkantavuus oli molemmilla osuuksilla suurempi kuin rakentamisen jälkeinen ja vastasi mitoitusarviota.

Keväällä 1998 mitattu kantavuus oli Urimossa pienempi ja Majoossa suurempi kuin arvioitu. Kesäkantavuus oli molemmilla osuuksilla selvästi suurempi kuin rakentamisen jälkeinen ja suurempi kuin mitoitusarvio.

6.1.4 Tasaisuus

Tasaisuusluku oli Urimon osuudella rakentamisen jälkeen, syksyllä 1996 noin 3,5 m/km, ja keväällä 1997 noin 5,5 m/km. Majoossa vastaavasti oli tasaisuusluku rakentamisen jälkeen 3-4 m/km, ja maksimiroudan aikaan, keväällä 1997 noin 6 m/km. Tasaisuus palautui edellisen syksyn arvoon loppukesällä 1997.

Tasaisuusluku oli Urimon osuudella syksyllä 1997 noin 3,5 m/km, ja keväällä 1998 noin 8,5 m/km. Majoossa vastaavasti oli tasaisuusluku syksyllä 1997 4 m/km ja maksimiroudan aikaan, keväällä 1998 noin 7 m/km. Molemmilla osuuksilla tasaisuusluku aleni toukokuussa noin tasolle 5 m/km. Tasaisuus palautui edellisen syksyn arvoon syyskesällä 1998.

6.1.5 Vauriot

Keväällä 1998 Urimon bitumistabilointiosuuden paalulla 30 oli havaittavissa molemmin puolin ajoradan pinnassa sekä reuna-alueilla pituushalkeamia.. Paaluvälillä 80 - 130 oli huomattavaa routanousua. Kunnossapitotoimenpiteistä johtuen oli osa pinnan ja reuna-alueiden halkeamista peittyneet sekä terävimmät routanousut tasoittuneet Majaan bitumistabilointiosuudella oli havaittavissa lievää tienpinnan urautumista. Kaikki koeosuudet oli tasattu ja suolattu 7-8.5.98. Kaikkien koekohteiden yleiskunto oli hyvä.

Syksyn 1998 voimakkaiden sateiden aikana, lokakuussa 1998, havaittiin, että Majoossa bitumistabilointiosuuden pinta voimakkaasti urautui. Urasyvytydet olivat 5-10 cm, mikä tarkoittaa, ettei urautuminen voinut rajoittua pelkästään savisoraan. Pinnan korjaamiseksi tielle levitettiin murskettä noin 100-150 mm. Urautuminen lienee syntynyt, kun veden kyllästävä savisoran liikenteen vaikutuksesta (noin 5-10 sorakuormaa/päivä) pehmeni. Savisoran pehmenneenä rasitus kohdistui bitumistabiloinnin pintaan, joka vaurioitui. Ilmeisesti urautuminen ei ulottunut bitumistabiloinnin alle. Savisoran vettymistä lienee voimistanut bitumistabiloidun alustan läpäisemättömyys.

6.2 Raudoitettu murskerakenne

6.2.1 Routanousu

Keväällä 1997 Urimon osuudella keskilinjän routanousu oli välillä 80-190 mm, mikä vastaa routimiskertoimen arvoa 7-15 mm²/Kh, keskimäärin 10 mm²/Kh. Majoon osuudella routanousu oli 80-250 mm, keskimäärin 150 mm, mikä vastaa routimiskertoimen vaihtelua välillä 8-15 mm²/Kh, keskimäärin 11 mm²/Kh. Urimon osuudella keskilinjän routanousu oli 20-50 mm ja reunassa 50-100 mm pienempää kuin keskilinjalla routanousun aiheuttama kulmanmuutos oli Urimon osuudella suurimmillaan 0,02 ja yleensä yli 0,01. Majoossa vastaavasti routanousu kaistan keskellä ja reunassa noudatteli keskilinjän routanousu ollen 10-50 mm pienempää kuin keskilinjalla. Routanousun aiheuttama poikittainen kulmanmuutos oli 0-0,02, ja vallitsevasti alle 0,01. Majoossa puolikova pinnoite saattaisi kestää vaurioitumatta.

Keväällä 1998 Urimon osuudella keskilinjän routanousu oli välillä 80-220 mm ja keskimäärin noin 150 mm, mikä vastasi routimiskertoimen arvoa 7-12 mm²/Kh, keskimäärin 10 mm²/Kh. Majoon osuudella routanousu oli 80-250 mm, keskimäärin 150 mm, mikä vastasi routimiskertoimen vaihtelua välillä 8-13 mm²/Kh, keskimäärin 10 mm²/Kh. Urimossa routanousun aiheuttama kulmanmuutos oli suurimmillaan 0,02 ja yleensä yli 0,01. Majoossa vastaavasti routanousu kaistan keskellä ja reunassa noudatteli keskilinjän routanousua poiketen 10-50 mm keskilinjasta. Routanousun aiheuttama poikittainen kulmanmuutos oli 0-0,03, ja vallitsevasti alle 0,01.

6.2.2 Kantavuus

Mitoitusarvion mukaan Urimossa kevätkantavuus olisi noin 60 MPa ja Majoossa noin 65 MPa, ja kesäkantavuudet vastaavasti Urimossa 95 MPa ja Majoossa 88 MPa.

Ennen koerakentamista Urimon osuuden kantavuus oli 80-160 MPa, rakentamisen jälkeen 140-300 MPa, kesäkuussa 1997 110-190 MPa ja heinäkuussa 1997 140-200 MPa. Majoossa vastaavasti oli mitattu kantavuus ennen rakentamista 85-180 MPa, rakentamisen jälkeen 110-350 MPa, kesäkuussa 1997 80-200 MPa ja heinäkuussa 1997 160-300 MPa.

Vuonna 1998 Urimon osuuden kantavuus oli kesäkuussa 1998 60-140 MPa ja heinäkuussa 1998 120-200 MPa. Majoossa vastaavasti oli mitattu kantavuus kesäkuussa 1998 70-280 MPa ja heinäkuussa 1998 110-240 MPa.

Molemmilla osuuksilla kevätkantavuus oli suunnilleen sama kuin arvioitu, Kesäkantavuus oli molemmilla osuuksilla suurempi kuin arvioitu. Kantavuuslisäys oli havaittavissa jo rakentamisvaiheessa. Ilmeisesti raudoite lisää päällysrakenteen jäykkyyttä suoraan, rakenne-elementtinä, tai epäsuorasti, parantaen murskekerroksen toimintapaa, vaikka raudoite onkin sijoitettu lähelle soratien pintaa. Murskeosuuksien pienin kantavuus nousi kelirikkoai-

kaankin lähelle nykyisten suunnitteluohjeiden tavoitekantavuutta noin 80 MPa.

6.2.3 Tasaisuus

Raudoitusosuuksilla oli rakentamisen jälkeinen tasaisuusluku 3-4 m/km. Keväällä 1997 maksimiroudan aikainen arvo 5-6 m/km.

Raudoitusosuuksilla oli tasaisuusluku syksyllä 1997 3,5-4 m/km ja maksimiroudan aikaan, keväällä 1998 8-9 m/km. Heinäkuulle 1998 mennessä tasaisuusluku laski arvoon noin 5,5 m/km

Kuvista 20 ja 22 voidaan havaita, että sekä Urimossa että Majoossa oli havaittavissa suuri epätasaisuus roudan sulamisvaiheessa. Kesällä tasaisuus parani pinnan hoidon ja sulamispainuman myötä niin, että tasaisuusluku oli rakentamisen jälkeisellä tasolla loppukesällä. Epätasaisuuden kehittyminen oli eri osuuksilla yhtenäinen. Silmämääräisten havaintojen mukaan oli raudoitusosuuksilla pinnan kuluminen nopeampaa kuin muilla osuuksilla. Tämä lienee johtunut saviorapinnan voimakkaasta kuivumisesta karkealla murskealustalla.

6.2.4 Vauriot

Urimon raudoitusosuuden paalulla 130 oli havaittavissa vasemman reunan reuna-alueella n. 10-15 cm syviä pituushalkeamia Kunnossapitotoimenpiteistä johtuen oli osa pinnan ja reuna-alueiden halkeamista peittynyt sekä terävimmät routanousut tasoittuneet

Majoon raudoituskohteissa havaittiin, että rakennettu viiden sentin kulutuskerros oli riittämätön. Kohteiden kulutuskerrosta arvioitiin jouduttavan lisäämään kuluvan kesän aikana.

6.3 Vertailurakenteet

6.3.1 Routanousu

Vuotta 1997 varten kesävaaitus tehtiin Urimon ja Majoon vertailuosuuksilla lokakuussa 1996. Routanousu vaihteli keväällä 1997 Urimossa välillä 20-190 mm, ja vastaava routimiskertoimen SP arvio oli 0-13 mm²/Kh. Routanoususta aiheutunut kulmanmuutos oli suurimmillaan noin 0,02, ja useimmissa poikkileikkauksissa yli 0,01. Majoon vertailuosuudella 2 alkuosa oli havaintojen mukaan routimaton, kun taas loppuosalla routanousu oli 100-270 mm ja routimiskerros 5-15 mm²/Kh. Poikittainen kulmanmuutos oli suurimmillaan 0,04, ja lähes joka poikkileikkauksessa yli 0,01.

Vuonna 1998 mitattiin tien keskilinjan ja molempien kaistojen keskilinjan sekä reunan korkeudet huhtikuussa 1998, maksimiroudan aikaan, ja sulamisen jälkeen, heinäkuussa 1998. Yksityiskohtaista tulosten tarkastelua haittaa se, että maksimiroudan ajankohdan jälkeen tien pintaa on hoidettu höylämällä ennen kesävaaitusta. Routanousun suuruusluokka lienee oikea, mutta poikkileikkausten kaltevuuserot eivät edustane routanousueroja.

Routanousu vaihteli Urimon vertailurakenteella välillä 20-260 mm, ja vastaava routimiskertoimen SP arvio oli 0-14 mm²/Kh. Routanoususta aiheutunut kulmanmuutos oli suurimmillaan noin 0,02, ja useimmissa poikkileikkauksissa alle 0,01. Majaan vertailuosuudella 2 alkuosan routanousu oli 50-150 mm, kun taas loppuosalla routanousu oli 100-350 mm ja routimiskerroin 5-16 mm²/Kh. Poikittainen kulmanmuutos oli suurimmillaan 0,05, ja lähes joka poikkileikkauksessa yli 0,01.

6.3.2 Kantavuus

Mitoitusvaiheessa arvioitiin, että minimikantavuus olisi keväällä noin 48 MPa sekä Urimossa että Majoossa. Kesäkantavuus olisi vastaavasti Urimossa 87 MPa ja Majoossa noin 100 MPa.

Kantavuusmittausten mukaan oli Urimon vertailuosuudella kantavuus ennen koerakentamista 60-230 MPa, rakentamisen jälkeen 110-400 MPa, kesäkuussa 1997 50-200 MPa ja heinäkuussa 1997 55-280 MPa. Majaan osuudella kantavuus ennen rakentamista oli 150-450 MPa, rakentamisen jälkeen 180-380 MPa, kesäkuussa 1997 80-260 MPa ja heinäkuussa 1997 180-380 MPa.

Kantavuusmittausten mukaan oli Urimon vertailuosuudella kantavuus kesäkuussa 1998 40-160 MPa ja heinäkuussa 1998 60-230 MPa. Majaan vertailuosuudella kantavuus kesäkuussa 1998 40-280 MPa ja heinäkuussa 1998 80-300 MPa.

Vuonna 1997 alhaisin mitattu kevätkantavuus vastasi Urimossa arvioitua ja Majoossa mitattu oli huomattavasti suurempi kuin arvioitu. Mitattu pienin kesäkantavuus oli Urimossa arvioitua pienempi, kun taas Majoossa huomattavasti suurempi.

Vuonna 1998 alhaisin mitattu kevätkantavuus vastasi Urimossa ja Majoossa arvioitua. Mitattu pienin kesäkantavuus oli sekä Urimossa että Majoossa arvioitua pienempi.

6.3.3 Tasaisuus

Syksyllä 1996 tasaisuusluku (Roadman-IRI) oli Urimon osuudella rakentamisen jälkeen noin 4 m/km ja keväällä 1997, roudan maksimin aikaan, noin 5,5 m/km. Majoossa vastaavasti oli rakentamisen jälkeinen arvo noin 3-4 m/km, ja keväällä 1997 noin 6 m/km.

Ennen routakautta, syksyllä 1997, tasaisuusluku (Roadman-IRI) oli Urimon osuudella noin 4 m/km ja roudan maksimin aikaan keväällä 1998 noin 8 m/km. Päälysrakenteen sulaessa epätasaisuus kasvoi arvoon noin 9 m/km, ja jatkossa se aleni sulamispainumisen ja pinnan hoidon myötä heinäkuussa 1998 arvoon noin 5 m/km. Majoossa vastaavasti oli tasaisuusluku (Roadman-IRI) syksyllä 1997 noin 3,5 m/km ja roudan maksimin aikaan noin 8 m/km. Kevään myötä tasaisuusluku pieneni ollen heinäkuussa 1998 noin 5,5 m/km.

7 KOERAKENTEIDEN KUSTANNUKSET

7.1 Raudoiterakenne

Raudoiterakenne tehtiin vanhan tierakenteen päälle asentamalla karhennetulle pinnalle teräsverkko, ja levittämällä ja tiivistämällä sen päälle 200 mm:n murskekerros. Kulutuspinna tehtiin saviorasta. Raudoitettun murskerakenteen kustannus noin 300 mk/tie-m tai 50 mk/m². Raudoitustyön osuus oli noin neljännes raudoitettun rakenteen kustannuksesta

7.2 Bitumistabilointi

Stabilointi tehtiin sekoittamalla vanhan tierakenteen yläosaan noin 200 mm:n paksuudelta sideainetta. Kulutuspinna tehtiin saviorasta. Koerakenteissa oli bitumistabiloidun rakenteen materiaali- ja työkustannus noin 250 mk/tie-m tai 42 mk/m².

7.3 Vertailurakenteet

Vertailurakenteissa pinnalle levitettiin saviorapinta.

7.4 Normaalirakenne

Tavanomaisessa korjausrakenteessa pinnalle levitetään geotekstiili (suositeltava kangasluokka 3). Tämän kustannus lienee noin 220 mk/tie-m tai 35 mk/m².

8 RAKENTEIDEN TOIMINNAN ARVIOINTI

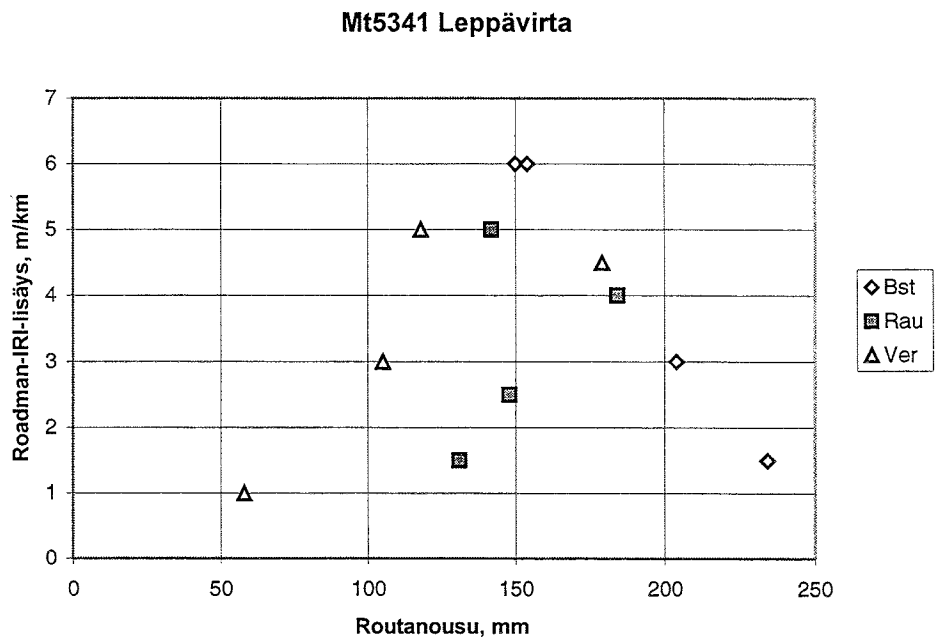
8.1 Routamitoitus

Routanousun rajoittamiseen voi olla kaksi syytä: epätasaisuuden rajoittaminen maksimiroudan aikaan tai sidotun päällysteen käyttö.

Pinnan pituussuuntainen epätasaisuus lisääntyy routanousun kasvaessa. Epätasaisuuden syynä voi olla routanousun vaihtelu pohjamaan routivuuden vaihtelun tai rakenteen paksuuden vaihtelun vuoksi. Näissä kohteissa päällysrakenteen paksuus oli jotakuinkin vakio. Päällysrakenne osoittautui myös routimattomaksi. Materiaalien laatuero rakenteen ja pohjamaan välillä oli tutkimusten mukaan selkeä.

Epätasaisuusluvun kasvu koerakenteilla routanousun kasvaessa ilmenee kuvasta 78. Sen mukaan Roadman-IRIn lisäys oli pieni, kun routanousutaso oli pieni. Routanousun kasvaessa 150 mm:iin kasvoi Roadman-IRI jopa 6 m/km. Jos halutaan rajoittaa Roadman-IRI esimerkiksi tasolle alle 7 m/km, niin routanousu olisi rajoitettava keskimääräisinä talvina alle 150 mm:iin.

Koekohteiden päällysrakenteen paksuutta olisi tällöin lisättävä noin 300-400 mm routivimmilla osuuksilla.



Kuva 78. Roadman-IRIn kasvu keväällä koeosuuksilla suhteessa osuuden keskimääräisen routanousuun.

Jos taas tie haluttaisiin päällystää niin, että päällyste ei vaurioidu routimisen myötä, olisi kivennäismaarakenteen oltava paksuudeltaan 1,5-2 metriä, tai rakenne olisi routaeristettävä noin 50-80 mm:n vaahtomuovieristeellä.

8.2 Kantavuusmitoitus

Koerakenteiden kantavuusarvion laadintaa on kuvattu luvussa 4. Arviot perustuivat syksyllä 1996, ennen rakentamista tehtyjen pudotuspainomittauksen takaisinlaskenta-arvoihin ja oletuksiin ominaisuuksien vaihtelusta keväällä ja kesällä.

Mitoituspoikkileikkauksien pinnan kantavuutta seurantamittauksissa on esitetty taulukossa 22.

Taulukko 22. Arvioidut kesä- ja kevätkantavuudet sekä mitatut kantavuudet vuosina 1996, 1997 ja 1998 koeosuuksilla.

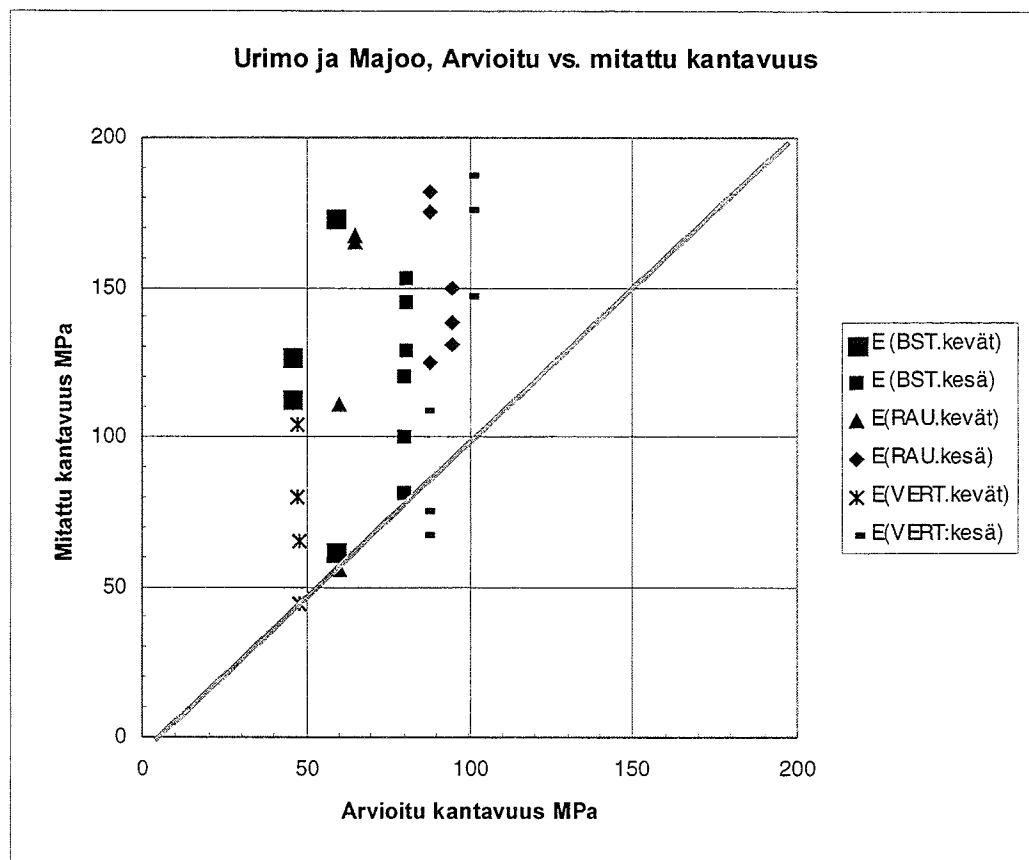
Poikkileik-kaus	Kantavuus	Arvioitu 10/96	Mittaus 9/96	Mittaus 11/96	Mittaus 1997	Mittaus 1998
Urimo BST 1 pl 60	E _{keväät}	59			173	62
	E _{Kesä}	80	65	81	120	100
Majoo BST 2 pl 260	E _{keväät}	45			127	113
	E _{Kesä}	81	121	145	153	129
Urimo RAU 1 pl. 260	E _{keväät}	60			111	56
	E _{Kesä}	95	85	150	138	131
Majoo RAU 2 pl. 940	E _{keväät}	65			167	165
	E _{Kesä}	88	85	125	175	182
Urimo VER 1 pl. 420	E _{keväät}	48			65	44
	E _{Kesä}	87	63	109	75	67
Majoo VER 2 pl. 700	E _{keväät}	47			80	104
	E _{Kesä}	100	59	176	187	147

Arvioidun ja mitatun kantavuuden vastaavuuta arviointipoikkileikkauksissa on esitetty kuvassa 79. Voitiin todeta, että ennen rakentamista tehty parannetun rakenteen kevätkantavuusarvio oli yhtä suuri tai suurempi kuin mitattu. Eroihin vaikuttaa mm. pudotuspainomittauksen toistettavuus, mittauksista laskettujen kerrosominaisuuksien luotettavuus parannustoimenpiteen vaikutuksen luotettavuus sekä alusrakenteen kevätkantavuuden arviointitarkkuus.

8.3 Käytettyjen parantamismenetelmien parametrit

8.3.1 Tarkastelutapa

Soratien rakenteen mitoituksessa merkitystä on sillä, miten paljon rakennetta voidaan kuormittaa, ettei pinnan urautuminen pohjamaan ja rakenteen vaurioituessa ylitä kunnossapitorajaa. Kantavuusvaatimukseksi on sorateille esitetty arvoa 80-90 MPa. Käytettäessä laskentamenetelmänä Ode-markin kaavaa, tarvitaan kantavuuslisäyksen määrityksessä kerroksen paksuutta ja kerroksen kimmomoduulia. Bitumistabiloinnin ja raudoitettun murskeen materiaalimoduulit arvioitiin parannetun rakenteen mitatun kesäkantavuuden paranemisesta suhteessa vanhan rakenteen kesäkantavuuteen.



Kuva 79. Ennen rakentamista arvioidun ja rakentamisen jälkeen mitatun kevät- ja kesäkantavuuden vertailu Urimon ja Majoon koerakenteiden tarkastelupoikkileikkauksissa.

8.3.2 Bitumistabiloidun kerroksen materiaalimoduuli

Mitoituspoikkileikkauksissa mitattujen kantavuuksien (taulukko 22) perusteella laskettiin bitumistabiloidun kerroksen kimmomoduulit käyttäen ylä- ja alapuolisten kerrosten moduleina mitoituksessa sovellettuja (vrt. luku 4). Tulokset on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 23. Mittauksista arvioidut bitumistabiloinnin materiaalimoduulit.

Kohde		11/96	1997	1998
Urimo pl. 60 kevät	Eo E(BST)		80	62 290
Urimo pl. 60 kesä	Eo E(BST)	81 300	120 500	110 500
Majoo pl. 260 kevät	Eo E(BST)		127 500	113 400
Majoo pl. 260 kesä	Eo E(BST)	121 300	153 400	129 300

Arviot on tehty soveltamalla Odemarkin laskentamenetelmää. Suhteitustutkimuksissa laboratorioissa ennen rakentamista arvioitiin bitumistabiloinnin kimmomoduuliksi noin 1300 MPa. Urimon mittausten perusteella voidaan arvioida, että bitumistabiloinnin kimmomoduuli rakenteessa olisi ollut noin 300-500 MPa.

8.3.3 Raudoitettun murskekerroksen materiaalimoduuli

Raudoitettun murskekerroksen ekvivalentti kimmomoduuli tarkoittaa murskeen laskennallista kimmomoduulia, jota nimelliskerrospaksuuden kanssa käytettynä sadaan mittauksia vastaava jäykkyys. Laskelmat tehtiin mitoituspoikkileikkauksissa tehtyjen pudotuspainomittausten perusteella käyttäen alustan kesäkantavuutena ennen rakentamista mitattua tienpinnan kantaavuutta (taulukko 24). Kevätarvot laskettiin käyttäen mitoituslaskelmissa käytettyjä kerrosominaisuuksia (luku 4).

Taulukko 24. Raudoitettun murskekerroksen ekvivalenttimoduulit.

Kohde		11/96	1997	1998
Urimo pl.260 kevät	E_{hav}		111	56
	E_{raud}		500	250
Urimo pl. 260 kesä	E_{hav}	150	138	131
	E_{raud}	400	350	300
Majoo pl. 960 kevät	E_{hav}		167	163
	E_{raud}		600	600
Majoo pl. 960 kesä	E_{hav}	125	161	190
	E_{raud}	300	400	500

Raudoitettun murskekerroksen materiaalimoduuli on arvion mukaan kerospaksuudella 200 mm noin 300-500 MPa.

Raudoituksen vaikutus on merkittävä, kun tiedetään, että tiivistetyn murskekerroksen kimmomoduulina käytetään arvoa 150-300 MPa. Koerakenteisiin tehtyä murskekerrosta ei erikseen tiivistetty.

9 RAKENTEIDEN TEKNISTALOUDELLINEN KÄYTTÖKELPOISUUSARVIO

9.1 Arviointiperusteet

Koerakenteita arvosteltaessa ja vertailtaessa olisi tarkasteltava seuraavia ominaisuuksia:

- tekninen toteutettavuus
- saavutettava kantavuuden paraneminen
- vaikutus routavaurioihin
- kustannukset

9.2 Toteutettavuus

Bitumistabilointi on vaikeata, jos päällysrakenteessa on ylisuuria kiviä, jotka eivät mahdu jursimen terien välistä, vaan rikkovat niitä. Kivien poistoon ei ole saatavissa riittävän käyttökelpoisia työvälineitä. Työkoneen kapasiteetti ja vanhan päällysrakenteen kivisyys rajoittavat myös sekoitusyvyyttä.

Sitomaton murskelisäys ei edellytä alustan muokkausta mahdollista pinnan karhentamista lukuunottamatta. Raudoitteen asentaminen murskeen alle on teknisesti helposti tehtävissä. Murskekerroksen paksuudelle ei työtekniikka aseta rajoitusta.

9.3 Kantavuuden paraneminen

Molemmat tutkitut parannusmenetelmät lisäävät sekä kevät- että kesäkantavuutta. Bitumistabiloinnilla kantavuuden lisäys oli tehdyissä koerakenteissa pienempi kuin raudoitettulla murskeella. Tähän vaikutti osaltaan se, että bitumistabilointi tehtiin vanhaan päällysrakenteeseen ilman korotusta, kun taas raudoiterakenne vanhan tien päälle sitä korottaen. On myös mahdollista, että bitumistabiloidun kerroksen jäykkyys paranee ajan mittaan, jolloin lisäparannusta olisi odotettavissa myöhemmin. Näissä koerakenteissa raudoitettu murske aiheutti ratkaisevan parannuksen heti rakentamisen jälkeen. Raudoitteen kanssa ohuehkolla murskekerroksella saadaan merkittävästi suurempi kantavuuden lisäys kuin ilman raudoitetta.

9.4 Toiminnalliset ominaisuudet

Poikittaisen kulmanmuutoksen ja pituushalkeiluriskin arviointi ei kevään 1998 havaintojen perusteella ollut luotettavaa, sillä huhtikuun routavaaituksen ja seuraavan heinäkuun kesävaaituksen välissä tien pintaa oli muokattu höyläämällä. Höyläys ei näytä vaikuttaneen merkittävästi mitattuun routanousutasoon, mutta ilmeisesti poikittaiskaltevuuksiin. Höyläyksessä keskitielle siirtynyt savisora pienensi näennäisesti keskilinjan routanousua ja lisäsi vastaavasti reunan routanousua. Tämä ilmeni poikkileikkauksen routanousueroja esittävästä kuvista. Kevään 1997 routanousuhavainnot perustuvat kesävaaitukseen, joka tehtiin ennen routakautta, rakentamisen jälkeen syksyllä 1996. Kevään 1997 routahavainnot ovat tältä osalta laadukkaampia.

Keväällä 1997 raudoiterakenteen poikittaiset routanousuerot olivat selvästi pienempiä kuin bitumistabilointi- ja vertailurakenteiden. Tämä viittaa raudoitteen aiheuttamaan laattavaikutukseen. Pituushalkeilun todettiin siirtyneen tien reunoille.

Koerakenteiden pituussuuntainen epätasaisuus oli yhtenäistä, eikä merkittäviä eroja ollut havaittavissa. On mahdollista, että raudoitetun rakenteen jäykkyyden vaikutuksesta keskilinjän routanousu oli hiukan pienempi kuin joustavan päällysrakenteen vastaavalla kohdalla.

9.5 Kustannusvertailu

Koerakenteissa oli bitumistabiloidun rakenteen materiaali- ja työkustannus noin 250 mk/tie-m tai 42 mk/m². Raudoitetun murskerakenteen kustannus noin 300 mk/tie-m tai 50 mk/m². Raudoituksen osuus oli noin neljäsnes raudoitetun rakenteen kustannuksesta.

10 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Edellä esitettyjen seurantatietojen perusteella voidaan päätellä seuraavaa:

1. Sorateiden routanousu on erittäin voimakasta routivilla maapohjilla joh-tuen ohuesta, heikosti routasuojatusta päällysrakenteesta. Leppävuiran kohteissa routanousu oli havaintotalvina 1996-97 ja 1997-98 suurimmillaan yli 300 mm, vaikka talviej olivat pakkasiltaan keskimääräisiä. Kerran 10 vuodessa toistuva routanousu saattaisi olla jopa 400 mm. Voimakkaasta routimisesta huolimatta sitomaton savisorapinta oli halkeilematon. Halkeamia todettiin ajoradan reunassa pientareella sekä bitumistabilointi- että raudoiteosuuksilla. Kevätkantavuus oli alempi suuren routanousun osuuksilla kuin vähän routineilla osuuksilla.
2. Routanousun vaikutuksesta tienpinnan epätasaisuutta kuvaava Roadman-IRI kasvoi keväällä kesätilanteesta jopa 3-6 m/km ollen suurimman routanousun aikaan, huhtikuussa jopa 8-10 m/km.
3. Bitumistabilointi lisäsi kantavuutta ennakoidulla tavalla. 200 mm:n ker-rosrakenteella materiaalimoduuli vastasi arvoa noin 300-500 MPa.
4. Raudoiterakenteen kantavuuslisäys oli merkittävästi suurempi kuin mitä raudoittamattoman muskekerroksen perusteella oli arvioitavissa. Rau-doitetulle murskekerrokselle, jonka paksuus oli 200 mm, voitiin arvioida ekvivalentiksi materiaalimoduuliksi noin 300-500 MPa.
5. Raudoitus pienensi poikittaista epätasaisuutta ja vähensi näin tienpinnan pituushalkeilun riskiä.
6. Bitumistabilointia vaikeutti soratien päällysrakenteen kivisyys. Kivien rik-komiseen ja poistamiseen ei ollut valmiita menetelmiä. Stabilointia rajoittivat myös säävaatimukset (lämpötila ja kosteus sekoittamisen jälkeen).
7. Raudoiterakenteen tekeminen oli työtekniisesti helppoa, eikä edellyttänyt erikoislaitteita. Käsittelemätön teräsverkko oli myös hankintakustannuk-siltaan edullinen. Sen toimintaiästä rakenteessa ei ole juuri kokemuksia.
8. Koerakenteiden routaantumista, routanousua ja sulamista arvioitiin ennalta soveltaen kenttähavainnot, rakennetietoja sekä ilmastotilastoja. Sulamisen etenemistä arvioitiin ilmastotietojen perusteella. Sulamisen kehittyminen kohteessa näytti olevan kalenteriajassa vakio. Sulamisajan pituus ja kelirikon ajoittuminen olisi tällöin ensi sijassa edeltävän talven ankaruudesta riippuva.
9. Soratien kevätkantavuuden minimiarvo pudotuspainolaitteella mitattuna ajoittui sulamisen päättymisen aikoihin. Alusrakenteen kantavuuden mi-nimiarvot olivat verrattavissa kantavuusluokituksen minimiarvoihin ko-pohjamailla. Kevätkantavuuskerroin oli vertailu- ja koerakenteosuuksilla alimmillaan noin 0,4. Keväällä 1997 kelirikko oli Savo-Karjalan tiepiirin alueella lievä ja keväällä 1998 vaikeahko.

10. Raudoitettun murskerakenteen kustannus oli noin 20 % korkeampi kuin bitumistabiloinnin. Rakenteen hinnasta 3/4 oli murskeesta aiheutuvaa. Vastaavasti kantavuuden paraneminen oli huomattavasti suurempi raudoitettulla rakenteella. Jos kantavuuden parantaminen toteutetaan murskekerroksella, lienee raudoitteella saatavissa lisäparannus, jolloin voitaisiin murskekerroksen paksuutta vastaavasti ohentaa. Tähän ohentamiseen annetaan mahdollisuus nykyisissä kunnossapito-ohjeissa, mutta mitoitustietoa ei ole esitetty.
11. Kantavuusmittausten perusteella voitiin arvioida, että heikon kevätkantavuuden osuuksilla kesäkantavuuskin oli alhaisempi. Kevätkantavuusongelmia näytti ilmenevän merkittävästi poikkileikkauksissa, joiden kesäkantavuus oli alle 150 a´ 200 MPa.
12. Kantavuuden parantamishankkeissa tulisi parannettavien teosien määrittäminen ja parannusrakenteen mitoitustietoa kohteen kevätkantavuusmittauksiin, joiden tulkinnessa tulisi ottaa huomioon myös sulamisvaihe. Tällä tavalla voitaisiin toimenpiteet rajata ja kohdistaa osuuksille, joissa kantavuuslisäys on tarpeellinen ja oikean suuruinen.

11 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Seuraaviin asioihin tulisi saada lisävalaistusta tutkittujen parantamismenetelmien sovellettavuuden parantamiseksi:

- kivenpoistomenetelmien kehittäminen bitumistabilointia varten
- -raudoitetun murskekerroksen paksuuden vaikutus kantavuuden paranemiseen
- erilaiset raudoitemateriaalit (teräsverkko, geoverkko, raskas geotekstiili ym.)
- raudoitteen mekaaninen toiminta rakenteessa
- raudoitteella jäykistetyyn soratierakenteeseen mitoitus
- kantavuuden mittausten menetelmien tulkinta päällystämättömillä teillä

Lisäksi olisi mahdollista testata maantien 5341 raudoitekohteissa sidotun päällysteen kestävyyttä.

12 KIRJALLISUUTTA

Ehrola, E. 1991.

Kivikoski H., 1993. Ilmastotilastot 1961-90. Pakkasmäärät, lämpöaste-summat, lumen syvyudet. VTT Yhdyskuntatekniikka, sisäinen moniste.

Lehtinen E. 1965. Soratien kantavuus. TKK, Rakennusinsinööriosasto, Lissensiaattityö. Helsinki. 214 s.

Lunardini V.J. 1978. Theory of n-factors and correlation of data. Proc. III Int. Conf. on Permafrost, Edmonton, July 1978, Vol. 1, pp. 40-46.

Mt 5341, Leppävirta. Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantaminen. Raportti vuoden 1996 tutkimuksista. Moniste. 48 s.

Mt 5341, Leppävirta. Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantaminen. Väli­raportti seurantamittauksista talvella 1996-97 ja kesällä 1997. Tielaitos, Savo-Karjalan tiepiiri, VTT Yhdyskuntatekniikka, Moniste. 34 s.

Mt 5341, Leppävirta. Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantaminen Väli­raportti seurantamittauksista talvella 1997-98. Moniste.

Saarelainen S. 1999. Thaw-weakening of frost-susceptible subgrades. Proc. XII ECSMGE, Amsterdam Aug. 1999. 6 s.

Saarelainen S. 1997. Field and laboratory methods for determining deformation properties in thawing soils. Proc. Int. Symp. on Ground Freezing and Frost action, Luleå Apr. 1997, ss. 53-62.

Saarelainen S. & Kivikoski H., 1997. Tierakenteen routasuojaus 97. TPPT, raportin luonnos. 43 s.

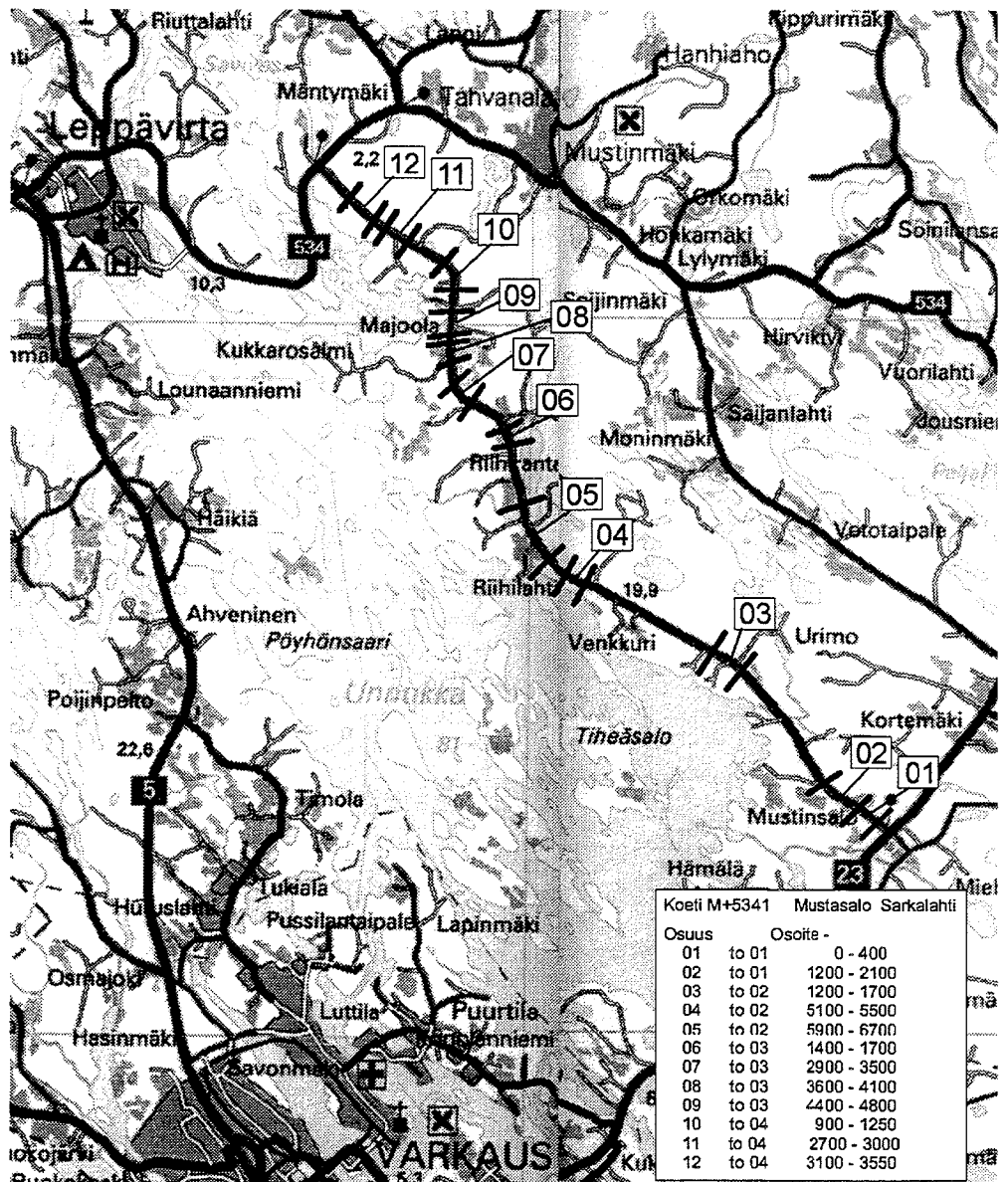
Saarelainen S. 1997. Kelirikon mallintaminen. TPPT, raportin luonnos.

Mt 5341 Mustinsalo-Sarkalahti, Leppävirta

EHDOTETUT KOEOSUUDET JA NIIDEN LÄHTÖTIEDOT

(R. Ledentsä 24.7.1996)

Kartta tieosasta ja ehdotettujen koeosuuksien sijainti



Vaihtoehtoiset koeosuudet ja niiden lähtötiedot (vrt kartta)

Tieosa 01, osuus 01, plv. 0-400

- keväisin pintakelirikkoa
- tien runko savimoreenia
- pohjavesi korkealla
- kuivatus puutteellinen
- kulutuskerros irtonainen
- liikenne pääasiassa kevyttä henkilöautoliikennettä, KVL95 90 ajon/vrk
- tien leveys 7,5 m
- ympäristö lehtimetsää

Tieosa 01, osuus 02, plv. 1200-2100

- keväisin routaheittoja ja pintakelirikkoa
- kuivatus puutteellinen
- tien runko savimoreenia
- ei pohjavesiongelmia
- savisilmäkkeitä
- tien pintaa mahdollisuus korottaa
- tien leveys 7-7,5 m
- ympäristö kuusimetsää

Tieosa 02, osuus 03, plv. 1200-1700

- tien rungossa runsaasti kiviä, savinen moreeni
- paha pintakelirikko
- kuivatus puuttuu
- vesiongelma
- ympäristö kuusimetsää ja alavaa

Tieosa 02, osuus 04, plv. 5100-5500

- routaheittoja ja pintakelirikkoa
- kuivatus puutteellinen
- tien runko savimoreenia
- ympäristö sekametsää, masto vaihtelevaa
- tien leveys 7-7,5 m

Tieosa 02, osuus 05, plv. 5900-6700

- pintakelirikkoa
- ei kuivatusongelmaa
- tien runko kivistä savimoreenia
- ympäristö sekametsää, järven lahti
- tien pinta kiinteä
- tien leveys 7-7,5 m

Tieosa 03, osuus 06, plv. 1400-1700

- kelirikkoa ja routaheittoja
- ei kuivatusongelmaa
- tien runko sora- tai savimoreenia
- tien leveys noin 7 m
- ympäristö peltoaukea

Tieosa 03, osuus 7, plv 2900-3500

- pintakelirikkoa
- tien runko kivistä savimoreenia
- kuivatus tyydyttävä
- ympäristö matalaa lehtimetsää
- tien leveys 7,5 m

Tieosa 03, osuus 8, plv. 3600-4100

- tien runko kivistä savimoreenia
- keväisin erittäin pehmeä ja pahoin vaurioituva
- kuivatus puutteellinen
- ympäristö lehtimetsää, sivuviettoinen pituuskaltevuus

Tieosa 03, osuus 8, plv. 4400-4800

- pintakelirikkoa
- tien runko kivistä savimoreenia
- ei kuivatusta
- tien pinta irtonainen
- ympäristö sekametsää
- tien leveys 7-7,5 m

Tieosa 04, osuus 9, plv. 900-1250

- pintakelirikkoa ja routaheittoja
- kuivatus puuttuu
- tien runko savimoreenia
- tien pinta irtonainen ja avoin
- ympäristö lehtimetsää
- tien leveys n. 7,5 m

Tieosa 04, osuus 10, plv. 2700-3000

- tien runko kivistä savimoreenia
- kuivatus kohtalainen
- ympäristö sekametsää, vetinen ja alava
- tien leveys noin 7,5 metriä

Tieosa 04, osuus 11, plv. 3100-3550

- kuten edellä

