



TIEN POHJA- JA
PÄÄLLYSRAKENTEET
TUTKIMUSOHJELMA
1994 - 2001

Kohderaportti

TPPT 37

Espoo, 4.12.2001

Pt 18564 Rantsila



Mika Ahonen
Teuvo Holappa
Eero Huttunen
Harri Kivikoski

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



SISÄLLYSLUETTELO

1 TUTKIMUSHYPOTEESSI JA KOERAKENTTEEN KUVAUS 1

2 LÄHTÖTIEDOT, ESITUTKIMUKSET JA

MATERIAALITUTKIMUKSET.....2

2.1 LÄHTÖTIEDOT2

2.2 ESITUTKIMUKSET.....2

2.3 MATERIAALITUTKIMUKSET3

2.3.1 TUTKIMUSMENETELMÄT.....3

2.3.2 TULOKSET5

3 KOERAKENTTEEN SUUNNITTELU- JA MITOITUSLASKELMAT8

3.1 SUUNNITTELUPERUSTEET8

3.1.2 KANTAVUUSTARKASTELU9

3.2 KÄYTETTY SUUNNITTELU- JA MITOITUSMENETELMÄT9

3.2.1 LASKENTAMALLIT10

3.3 LASKENTATULOKSET10

4 KOERAKENTTEEN TOTEUTTAMINEN JA RAKENTAMISEN

LAADUNVARMISTUS12

4.1 MITTAUKSET12

4.2 LEIKKAUSTYÖT12

4.3 PALATURPEEN LEVITYS12

4.4 PÄÄLLYSRAKENNEKERROKSET14

4.5 VERTAILURAKENNE15

4.6 RAKENTAMISEN LAADUNVARMISTUS15

5 SEURANTAMITTAUKSET17

5.1 KOERAKENTTEEN INSTRUMENTOINTI17

5.2 PAKKASMÄÄRÄ.....17

5.3 LÄMPÖTILAMITTAUKSET17

5.4 PALATURVERAKENTTEEN KOSTEUSTILA.....20

5.5 PALATURVERAKENTTEEN LÄMMÖNJOHTAVUUS21

5.6 POHJAVEDEN SYVYYS22

5.7 ROUDAN SYVYYS.....23

5.8 ROUTANOUSU.....24

5.9 LUMIPEITTEEN PAKSUUS32

5.10 KANTAVUUS33

5.11 TASAISUUS34

5.12 VAURIOT41

6 YHTEENVETO44

7 KIRJALLISUUS.....49

1 TUTKIMUSHYPOTEEESI JA KOERAKENTEEN KUVAUS

Rantsilan koerakennuskohteen tavoitteena oli saavuttaa riittävä routakestävyys estämällä alusrakenteen routivan kerroksen jäätyminen, haitallinen routiminen ja sulamisvaiheen lujuuden aleneminen. Turvekerroksen paksuudella pyrittiin hallitsemaan routanousujen suuruus ja sulamisvaiheen kantavuus.

Koerakenteen rakenneosat olivat pinnasta lukien Ös 40 mm, murskesoraa 550 mm, suodatinkangas, palaturve 300 - 600 mm ja vanha tierakenne. Vanhan tierakenteen päällysrakennepaksuus oli noin 0,7 - 0,9 m. Koeosuus oli osa parannettavaa paikallistietä.

Koeosuuden vertailurakenteena toimi masuunihiekkarakenne tieosuudella plv. 960 - 1200.

Koerakennuskohteessa tutkittavia asioita olivat:

- Palaturve-eristyksen järkevät käyttöalueet ja kerrospaksuudet sekä palaturpeen ominaisuuksien säilyminen ja muutokset (eristysominaisuudet, kosteusmuutokset, lujuus).
- Tierakenteen kestävyys ja kantavuus turve-eristystä käytettäessä.
- Rakentamistekniikan kehittäminen (levitys- ja sekoituskalusto, työkoneketjut sekä työjärjestyskysymykset, ympäristöominaisuudet).
- Turve-eristyksen taloudellisuus.

2 LÄHTÖTIEDOT, ESITUTKIMUKSET JA MATERIAALITUTKIMUKSET

2.1 Lähtötiedot

Koerakennuskohde sijaitsee Rantsilan kunnassa paikallistiellä nro 18564 välillä Kerälä-Rantsila (*kuva 1*). Kohteen tierekisteriosoite on 02/7866-8346. Rakentamissuunnitelman mukainen paalutus 720-1200 kasvaa tierekisteriin verrattuna päinvastaiseen suuntaan.



Kuva 1. Rantsilan koerakennuskohteen sijainti.

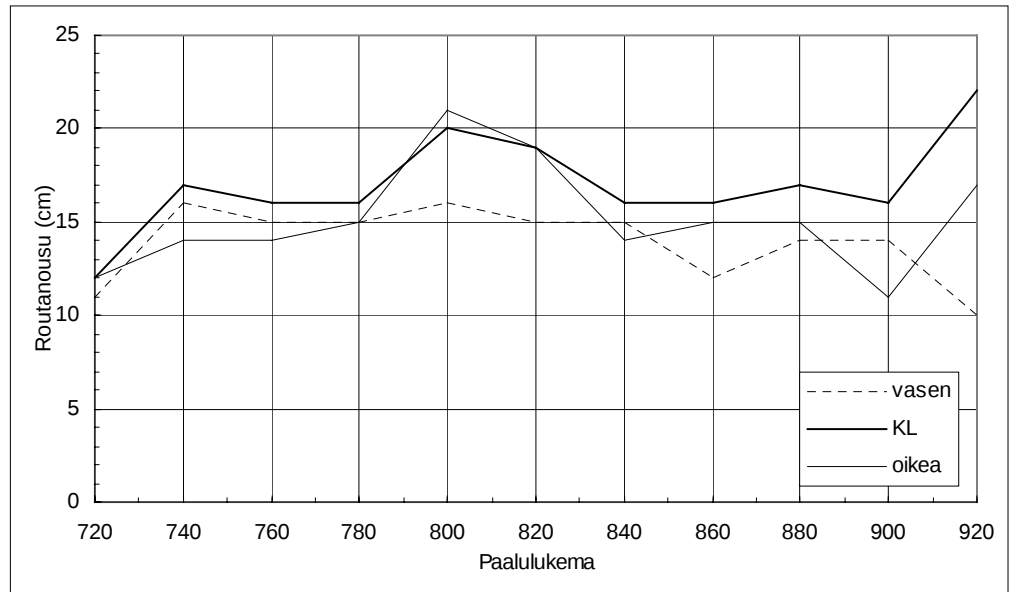
Keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) kyseisellä välillä on 255 ajoneuvoa/vrk, josta raskaan liikenteen osuus on 7%.

Vuoden keskilämpötila Rantsilassa on 1.5°C. Kerran kahdessa vuodessa toistuva pakkasmäärä (F_2) on 28400 h°C ja kerran kymmenessä vuodessa toistuva pakkasmäärä (F_{10}) 42300 h°C /1/.

2.2 Esitutkimukset

Routiminen

Paaluvälillä 720-920 esiintyi suuria routanousuja (max. 22 cm) talvella 1995. Keskimäärin routanousu tien keskilinjalla oli 17 cm (*kuva 2*).



Kuva 2. Routanousu talvella 1995 paaluvälillä 720-920.

2.3 Materiaalitutkimukset

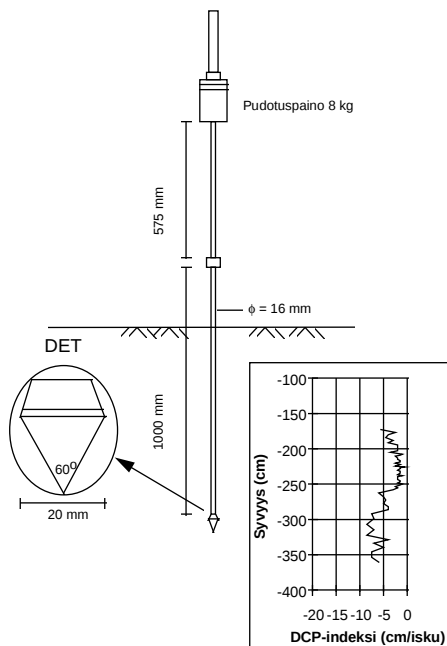
2.3.1 Tutkimusmenetelmät

Materiaalitutkimukset jakaantuivat maasto- ja laborioritutkimuksiin, jotka suoritettiin Oulun yliopiston geotekniikan laboratorion toimesta. Tutkimukset liittyivät TPPT-projektiin "M13 Koerakennuskohteiden materiaalien routakestävyys". Materiaalitutkimusten menetelmäkuvaukset ja tulokset raportoitettiin yksityiskohtaisemmin tielaitoksen julkaisussa "Koerakennuskohteiden materiaalien routakestävyys. Pohjoiset kohteet." (Tielaitoksen selvityksiä 37/1996) [2].

Maastotutkimukset

Kohteessa suoritettiin maastotutkimukset ja maanäytteidenotto 12.6.1995. Valittujen tutkimuspoikkileikkausten (PI 750 oik. ja PI 840 vas.) rakennekerros materiaalien paksuudet selvitettiin kaivamalla koekaivannot tien sisäluiskaan välittömästi ajoradan reunaan. Maastotutkimusten ohessa otettiin rakennekerroksista häiriintyneet näytteet sekä pohjamaasta häiriintymättömät ja häiriintyneet näytteet laborioritutkimuksia varten.

Alusrakenteen homogeenisuutta ja kantavuutta selvitettiin DCP-kokeilla (*Dynamic Cone Penetrometer*, kuva 3). Kairauksessa käytettiin 60° kärkikartioita. Kairaukset tehtiin koekaivannoista, jotka kaivettiin PI 730...910 limittäin tien molemmille puolille 20 m:n välein.



Kuva 3. DCP-kaira ja kairausdiagrammi.

Alusrakenteen vesiolosuhteita selvitettiin TDR-mittauksilla (*Time Domain Reflectrometer*), jonka tuloksena saadaan materiaaleille ominaiset suhteelliset dielektrisyysvakiot. Mittaukset tehtiin samoilta paaluilta kuin DCP-kokeet.

Maaperän vesipitoisuuden ja dielektrisyysvälin välillä on voimakas riippuvuus, joten vesipitoisuus voidaan määrittää mitatusta dielektrisyysvakioista. Koska veden dielektrisyysvakio (81) on 16-kertainen useimpien maalajien dielektrisyysvakioihin verrattuna, määräytyy maaperän dielektrisyysvakio pääasiassa maan vesipitoisuuden perusteella.

Laboratoriotutkimukset

Laboratoriotutkimusten tavoitteena oli selvittää pohjamaan routaantumisen- ja routivuuskäyttäytymistä sekä niiden riippuvuutta olosuhdetekijöistä.

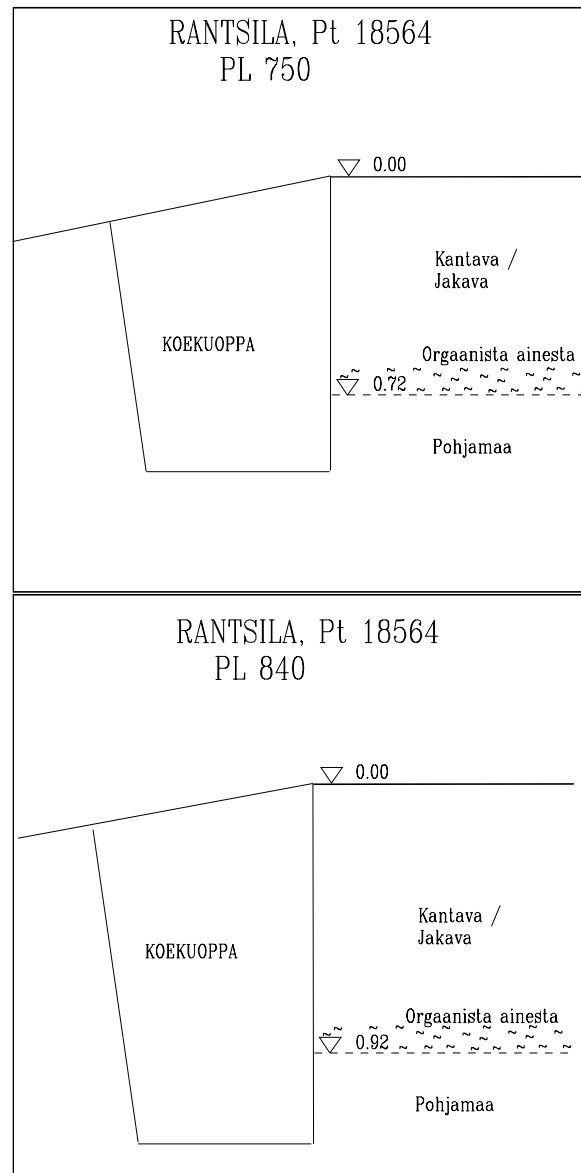
Routivuutta arvioitiin ensisijaisesti vakiolämpötilakokeina tehtyjen routanousukokeiden perusteella sekä epäsuorasti luokitus- ja hydraulisiin ominaisuuksiin perustuvien routvuuskriteerien avulla.

Kantavuutta ja sulamispehmenemistä selvitettiin dynaamisella kolmiakselialikokeella sekä epäsuorasti CBR-kokeilla.

2.3.2 Tulokset

Pohjasuhteet ja vesiolosuhteet

PI 750 kohdalla päällysrakenteen paksuus oli 72 cm ja vastaavasti PI 840 kohdalla 92 cm. Kantavan/jakavan kerroksen alapinnassa oli havaittavissa tummaa orgaanista ainesta sekoittuneena mineraalimaa-ainekseen (kuva 4).



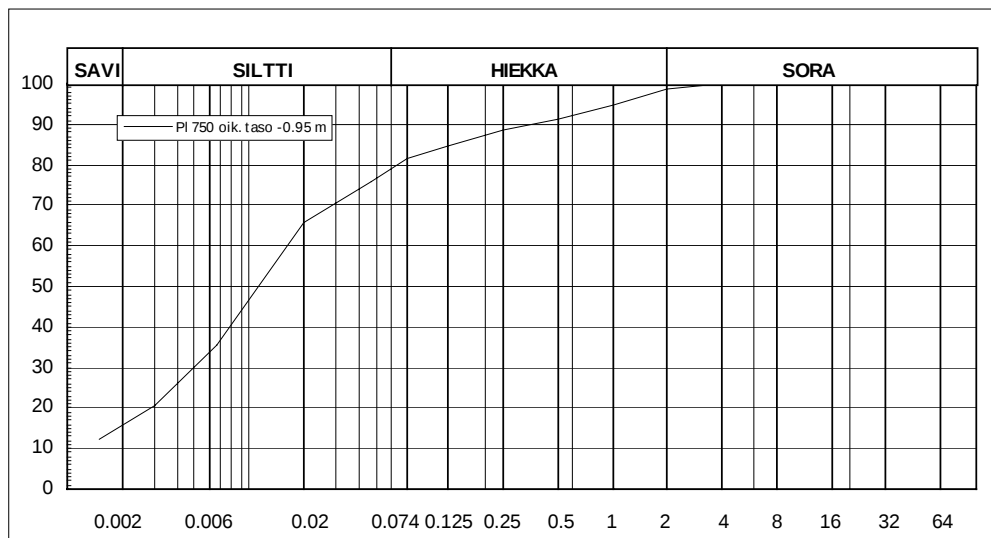
Kuva 4. Koekaivantokuva, PI 750 oikea ja PI 840 vasen.

DCP-kokeiden perusteella pohjamaan pintaosa oli Plv 750...830 selvästi löyhempää kuin alapuoliset kerrokset, joissa DCP-indeksi oli keskimäärin 37 mm/isku. PI 840 kohdalla DCP-indeksi oli syvyydellä 1,75...3,10 m tien pinnasta keskimäärin löyhempää (4,7 cm/isku) kuin muissa tutkituissa pisteissä (liite 1). Pintaosien heikko kantavuus johtui ilmeisesti roudan sulamisen vaikutuksista.

Pohjamaan suhteellinen dielektrisyys vaihteli välillä 24,2...44,9 ollen huomattavan suuri tällaiselle maamateriaalille. Suuret suhteelliset dielektrisyysarvot voivat johtua korkean vesipitoisuuden ohella mm. siitä, että maamateriaali sisältää runsaasti orgaanista ainetta. Tämä seikka saattaa aiheuttaa virhettä tilavuusvesipitoisuuksien laskennassa. Laskennallisesti mainitut arvot vastaavat tilavuusvesipitoisuuksia 40...54 %.

Laboratoriotutkimukset

Tutkimuspoikkileikkauksen (PI 750) kohdalla pohjamaa oli rakeisuudeltaan savista silttiä (kuva 5), jonka vesipitoisuus oli 48 % ja humuspitoisuus 2,9 %.



Kuva 5. Rakeisuuskäyrä, PI 750 oikea.

Pohjamaamateriaali oli kaikkien routivuuskriteerien perusteella routivaa (taulukko 1). Routanousukokeessa näytteen (lähtökorkeus 100 mm) kokonaisroutanousu 0-kuormalla oli 37 mm (liite 2). Luokitus- ja hydrauliset ominaisuudet olivat tyypillisiä ko. maalajille. PI 840 kohdalta otetun pohjamaamateriaalin luokitus-, hydrauliset- ja routivuusominaisuudet olivat lähes samanlaiset kuin PI 750 kohdalta otetun pohjamaamateriaalin.

Taulukko 1. Pohjamaan (PI 750 oik.) luokitus-, hydraulisia- ja routivuusominaisuuksia sekä materiaalien routivuusluokitus kyseisten ominaisuuksien perusteella.

Ominaisuus	Suure	Routivuusluokitus ⁽²⁾
Rakeisuus	saSi	Routiva
Hienoustekijä, R_f	23	Erittäin routiva
Kapillaarisuus, h_c	3,9 m	Erittäin routiva
Vedenläpäisevyys, k	$10^{-7.4}$ m/s	Routiva
pF-käyrä, w_{vol} ($\theta = 2,5$) ⁽¹⁾	49,9 %	-
Segregaatiopotentiaali, SP	13 mm ² /Kh	Erittäin routiva

⁽¹⁾ tilavuusvesipitoisuus pF-arvolla 2,5 (imu = 32 kPa)

⁽²⁾ routivuusluokitukset on esitelty lähteessä /3/

Sulan materiaalin dynaaminen kimmomoduuli tierakenteessa vaikuttavalla jännitystaolla oli 10 MPa ja CBR-arvo vastaavasti 3 %.

3 KOERAKENTEEN SUUNNITTELU- JA MITOITUSLASKELMAT

3.1 Suunnitteluperusteet

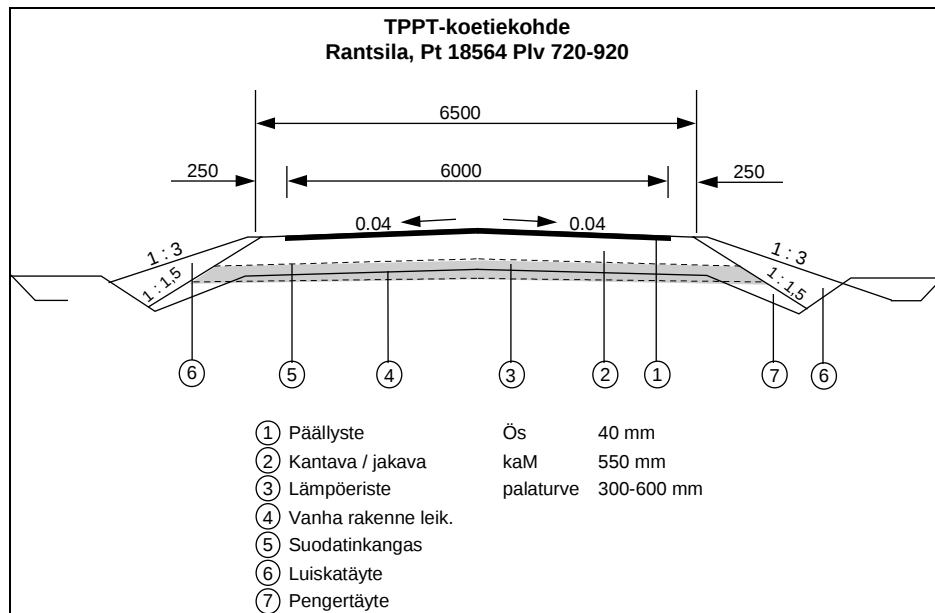
3.1.1 Routatarkastelu

Koerakennekohteen perusparantamisen yhteydessä tiehen rakennettiin lämmöneristekerros palaturpeesta, jolla oli tarkoitus ehkäistä koeosuudella aikaisemmin esiintyneitä routavaurioita. Palaturvekerros rakennettiin pituussuunnassa kiilamaiseksi, koska koeosuudella haluttiin seurata palaturve-eristeen vahvuuden vaikutusta routavaurioihin ja routanousuun.

Palaturverakenne tehtiin Plv 720...920. Rakentamissuunnitelman mukaisesti palaturvekerroksen paksuus oli ohuimmillaan PI 720 (300 mm). Paksuimmillaan palaturvekerros oli PI 920 (600 mm). Palaturverakenteen molempiin päihin rakennettiin siirtymäkiila haitallisten routanousuerojen ta-
saamiseksi.

Mitoituspoikkileikkaus

Routalaskennassa kantavana ja jakavana kerroksena oli murske paksuudeltaan 550 mm. Palaturvekerroksen alapuolella oli vanhan tierakenteen rakennekerroksia, hiekkaa (200 mm), hiekkaista sora-
moreenia (200 mm) ja siltistä hiekkamoreenia (150 mm), joka oli keskinkertaisesti routivaa. Palaturvekerros eristettiin suodatinkankaalla muista kerroksista. Rakenne
päälystettiin öljysoralla. Pohjamaa oli routivaa savista silttiä (kuva 6).



Kuva 6. Rantsilan koerakennekohteen poikkileikkauskuva.

Mitoituskriteerit

Mitoittava pakkasmäärä turvekerroksen ohuemmassa päässä oli kerran viidessä vuodessa toistuva pakkasmäärä $F_5=35000 \text{ h}^\circ\text{C}$ ja palaturvekerroksen paksummassa päässä kerran 20 vuodessa toistuva pakkasmäärä $F_{20}=45000 \text{ h}^\circ\text{C}$.

Kyseiset pakkasmäärät olivat laskentahetkellä käytössä olevasta v. 1931-1960 lämpötilojen kuukausikeskiarvojen perusteella lasketuista tilastoista /4/. Uudessa RT-kortissa /1/ pakkasmäärät on laskettu vuorokausikeskiarvojen perusteella jaksolta 1961-1990 ja pakkasmäärät ovat pääosin suuremmat kuin aikaisemmassa tilastossa.

Laskennassa lähtötietoina käytettiin kuukausittaisia ilman keskilämpötiloja ja talven lämpötilajakaumana käytettiin normaalitalven lämpötilajakaumaa. Mitoitustalven kuukauden keskilämpötila laskettiin kuukausittain normaalitalven jakauman mukaisesti siten, että kuukauden normaalitalven keskilämpötilaa korjattiin kertoimella *mitoituspakkasmäärä / (normaalitalven pakkasmäärä)*. Sallittu routanousu oli 70 mm.

Mitoitusparametrit

Rakennekerrosten ja pohjamaan lämmönjohtavuus laskettiin Kerstenin menetelmällä. Turpeen lämmönjohtavuus arvioitiin aikaisempien lämmönjohtavuusmittausten perusteella. Tilavuuslämpökapasiteetti ja olomuodonmuutoslämpö laskettiin kuivatilavuuspainon ja vesipitoisuuden perusteella. Pohjamaan segregatiopotentiaali 0-kuormalla määritettiin laboratoriossa (taulukko 2).

Taulukko 2. Rantsilan koerakennuskohteen routamitoituksessa käytetyt parametrit.

Parametri	Yks.	Ös	KaM	Tv	Hk	hkSrMr	siHkMr	saSi
Kerroksen paksuus	[mm]	40	550	300-600	200	200	150	pohjam.
Kuivairtoteisyys	[kN/m ³]	22,0	20,0	2,0	18,0	18,3	14,5	11,0
Tilavuusvesipitoisuus	[%]	1	4	35	10	16	43	58
SP 0-kuormalla	[mm ² /Kh]	0	0	0	0	0	2	15
Lämmönjohtavuus	[W/°Cm]							
-sula		2,06	1,56	0,6	1,78	2,12	1,66	0,95
-jäätynyt		2,03	1,07	1,2	1,57	2,20	3,07	2,34
Tilavuuslämpökapasiteetti	[J/°Cm ³]							
-sula		1,70E6	1,67E6	1,62E6	1,78E6	2,05E6	2,91E6	3,26E6
-jäätynyt		1,70E6	1,59E6	0,88E6	1,57E6	1,71E6	2,00E6	2,04E6
Olomuodonmuutoslämpö	[J/m ³]	0,33E7	1,34E7	11,69E7	3,34E7	5,34E7	14,36E7	19,37E7

3.1.2 Kantavuustarkastelu

Koerakenteen kantavuustarkastelun suoritti VTT:n tielaboratorio. Perinteisiä laskentamalleja käyttäen rakenteelle ei saatu tavoitekantavuusarvoja. Rakenteen kuormituksen kestävyysmallintaminen ei ollut mahdollista nykyisillä laskentamenetelmillä.

3.2 Käytetyt suunnittelu- ja mitoitusmenetelmät

3.2.1 Laskentamallit

Roudan syvyys laskettiin GEL1d- ja CRREL-mallilla sekä Modified Berggren-menetelmällä. Routanousu laskettiin CRREL-mallilla, yhdistetyn GEL1d-mallin ja segregaatiopotentiaalimenetelmän avulla sekä yhdistetyn Modified Berggren- ja segregaatiopotentiaalimenetelmän avulla.

GEL1d

GEL1d-malli on 1-dimensionaalinen lämmön siirtymiseen perustuva roudan syvyyden laskentaohjelma. Mallissa maaperän lämpötilan muutoksia aiheuttavat samanaikaisesti maanpinnan lämpövirta, maaperän lämpövirta ja veden muuttuminen jääksi. Ohjelmassa ei huomioida hydraulisia eikä mekaanisia ilmiöitä /5/.

CRREL

CRREL-malli on USA:ssa kehitetty matemaattinen malli, jonka avulla pystytään arvioimaan routanousua ja sulamispehmenemistä sekä roudan syvyyttä tierakenteissa. Malli on 1-dimensionaalinen kuvaus lämmön- ja massan siirtymisestä ja sen numeerinen ratkaisu suoritetaan integrointimenetelmällä /7/.

CRREL-malli on alunperin kehitetty ja testattu kausittaisen jäätymisen ja sulamisen mallintamiseen ei-koheesiomailla, joiden rakeisuusalue on silmistä soraan ja joilla roudan syvyys jää pohjavesitason yläpuolelle. Mallia voidaan soveltaa myös koheesiomailla /7/.

Modified Berggren-menetelmä

Modified Berggren-menetelmä on analyyttinen laskentamenetelmä, jota voidaan käyttää roudan syvyyden ja maan lämpötilajakauman laskemiseen /6/. Modified Berggren-menetelmällä voidaan arvioida roudan maksimisyvyys käyttämällä differentiaaliyhtälöä määrittämään maan lämpötilaprofiili. Tässä mallissa maan lämpötekniset ominaisuudet tarvitaan sekä sulana että jäätyneenä.

Routanousun laskeminen segregaatiopotentiaalilla

Koerakenteiden routanousu laskettiin segregaatiopotentiaalimenetelmän avulla. Segregaatiopotentiaalimenetelmän avulla laskettu routanousu koostuu osittain maassa jo olevan huokosveden jäätymislaajenemasta (in situ) ja osittain jäätymisvyöhykkeeseen ulkoisesta lähteestä virtaavan veden jäätymisestä. Laskentamenettely on esitetty lähteessä /3/.

3.3 Laskentatulokset

Palaturvekerroksen paksuuden ollessa 600 mm roudan syvyydeksi saatiin mitoituspakkasmäärällä F_{20} GEL1d-mallilla 1,80 m, CRREL-mallilla 1,89 m ja Modified Berggren menetelmällä 2,16 m. Palaturverakenteen ohueman pään (300 mm) mitoituspakkasmäärä oli F_5 . Tällöin roudan syvyydeksi saatiin GEL1d-mallilla 1,57 m, CRREL-mallilla 1,64 m ja Modified Berggren menetelmällä 2,02 m (taulukko 3).

Turverakenteen paksummassa päässä mitoituspakkasmäärällä F_{20} routanousuksi saatiin CRREL-mallilla 27 mm yhdistetyn GEL1d-mallin ja segregaatiopotentiaalimenetelmän avulla 25 mm sekä yhdistetyn Modified Berggren- ja segregaatiopotentiaalimenetelmän avulla 112 mm. Turverakenteen ohuemman pään vastaavat routanousuarvot olivat 63 mm, 47 mm ja 138 mm mitoituspakkasmäärän ollessa F_5 (taulukko 3).

Taulukko 3. Roudan syvyys ja routanousu Rantsilan koerakennekohteessa.

Pakkasmäärä [°Ch] Turvekerroksen paksuus [mm] Laskentamalli	$F_{20}=45000^{\circ}\text{Ch}$		$F_5=35000^{\circ}\text{Ch}$	
	Mitoituspaksuus 600 Roudan syvyys [m] Routanousu [mm]	300 Roudan syvyys [m] Routanousu [mm]	600 Roudan syvyys [m] Routanousu [mm]	Mitoituspaksuus 300 Roudan syvyys [m] Routanousu [mm]
Modified Berggren SP	2,16 112	2,18 182	1,98 65	2,02 138
GEL1d SP	1,80 25	1,71 69	1,65 3	1,57 47
CRREL	1,89 27	1,74 109	1,79 4	1,64 63

Rantsilan koerakennekohteen pohjamaan segregaatiopotentiaalille käytettiin laskennassa arvoa $15 \text{ mm}^2/\text{Kh}$, joten pohjamaa oli erittäin voimakkaasti routivaa. Routanousu oli 3...182 mm pakkasmäärästä, routamallista ja eristekerroksen paksuudesta riippuen. Routanousu oli mitoituspakkasmäärällä huomattavan suuri ja voi täten aiheuttaa vaurioita tierakenteelle. Mallinnettu roudan syvyys vaihteli 1,57...2,18 m eristekerroksen paksuudesta, routamallista ja pakkasmäärästä riippuen.

4 KOERAKENTEEN TOTEUTTAMINEN JA RAKENTAMISEN LAADUNVARMISTUS

4.1 Mittaukset

Rakennettava tielinja paalutettiin 20 m välein. Paalutus sidottiin monikulmioverkkoon tien keskilinjalta alku- ja loppupäästään. Kiintopisteenä käytettiin Rantsilan kylän keskustassa sijaitsevaa kiintopistettä Kp 3796.

4.2 Leikkaustyöt

Alusrakenteen pinnan muotoilu aloitettiin koerakenteen Rantsilan puoleisesta päästä tien oikealta kaistalta. Työn aikana liikenne ohjattiin tien vasemmalle kaistalle. Alusrakenteen pinta muotoiltiin leikkaamalla vanhan tien rakennekerroksia ja pohjamaata siten, että paalutuksen suunnassa kiilamaisesti 300...600 mm:iin vahveneva palaturvekerros sekä siirtymäkiilat turverakenteen molempiin päihin oli mahdollista rakentaa. Alusrakenteen pinnalle levitettiin suodatinkangas estämään alusrakennemateriaalin sekoittuminen palaturvekerrokseen (kuva 7).



Kuva 7. Suodatinkangas levitettynä muotoillun alusrakenteen pinnalle tien oikealla kaistalla.

4.3 Palaturpeen levitys

Palaturpeen levitys aloitettiin 17.8 tien oikealle kaistalle. Turvemateriaali tuotiin kohteeseen sivukippiautoilla (kuva 8). Turpeen levitys suoritettiin pyöräalustaisella kaivinkoneella, jonka jälkeen suoritettiin kevyt tiivistäminen valssitäryttimellä (kuva 9).



Kuva 8. Palaturpeen toimittamista sivukippiautoilla.



Kuva 9. Palaturpeen tiivistäminen valssitäryttimellä.

Tiivistetyn palaturvekerroksen yläpinnalle levitettiin suodatinkangas, jonka tarkoituksena oli estää päällysrakennemateriaalien sekoittuminen turvekerrokseen.

4.4 Päällysrakennekerrokset

Kantava / jakava kerros (KaM) levitettiin suoraan turvekerroksen yläpuolelle levitetyn suodatinkankaan päälle. Materiaalin levitys ja muotoilu suoritettiin pyöräalustaisella kaivinkoneella, johon oli asennettu puskuterä (kuva 10). Tiivistäminen suoritettiin valssitörmällä.



Kuva 10. Kantavan / jakavan kerroksen levitys ja muotoilu pyöräalustaisella kaivinkoneella.

Edelläkuvattujen toimenpiteiden jälkeen liikenne siirrettiin tien oikealle kaistalle ja aloitettiin vasemman kaistan rakentaminen. Työt suoritettiin kuten oikealla kaistalla (kuva 11).



Kuva 11. Koerakenteen vasemman kaistan palaturvekerros tiivistettynä 21.8.1996. Liikenne kulki oikealla kaistalla kantavan (KaM) kerroksen päällä.

Koerakenne päällystettiin kantavan / jakavan kerroksen lopullisen muotoilu- ja tiivistämisen jälkeen öljysoralla. Rakenne valmistui lopullisesti 25.9.1996 (kuva 12).



Kuva 12. Koerakenne valmiina 27.9.1996.

4.5 Vertailurakenne

Vertailurakenne toteutettiin ns. masuunihiekkarakenteena. Alusrakenteen pintaan levitettiin ja tiivistettiin 200 mm paksu suodatinhiekkakerros, jonka yläpuolelle rakennettiin 350 mm paksu masuunihiekkakerros. Jakavan kerroksen paksuus oli 500 mm, kantavan kerroksen (KaM) paksuus oli 100 mm ja PAB-päällysteen 40 mm.

4.6 Rakentamisen laadunvarmistus

Turveosuuden kohdalla leikkauskaivannossa alusrakenteen pintaosa oli kuiva ja materiaali oli silmämääräisen tarkastelun perusteella väriltään kirjavaa ja homogeenista. Rakeisuudeltaan materiaali oli Plv 720...920 välillä savista silttiä ja sora-moreenia (taulukko 4).

Taulukko 4. Alusrakenteen tila turveosuuden kohdalla.

Plv	Kuvaus alusrakenteesta, maalaji, vesiolosuhteet	Homogeenisuus
720-740	srMr, kuiva	väriltään kirjavaa, homogeeninen
740-760	saSi, kuiva	väriltään kirjavaa, homogeeninen
760-780	saSi, kuiva	väriltään kirjavaa, homogeeninen
780-800	saSi, kuiva	väriltään kirjavaa, homogeeninen
800-820	saSi, kuiva, 2 m KL:stä srMr	väriltään kirjavaa, homogeeninen
820-840	saSi, kuiva, 2 m KL:stä srMr	väriltään kirjavaa, homogeeninen
840-860	saSi, kuiva	väriltään kirjavaa, homogeeninen
860-880	saSi, kuiva	väriltään kirjavaa, homogeeninen
880-900	saSi, kuiva	väriltään kirjavaa, homogeeninen
900-920	saSi, kuiva	väriltään kirjavaa, homogeeninen

Kuljetusvälineen lavalta tuotiin rakentamispäikalle turvetta 1111 m³, josta rakenteeseen tiivistetyn turpeen tilavuudeksi saatiin 850 m³. Kertoimeksi palaturpeen rakenneteoreettisen ja irtotilavuuden välille saatiin tässä tapauksessa 1,31 (m³ RTR x 1,31= m³ ITD). Palaturvekerroksen tiivistyminen 12 t täryjyrällä oli vähäistä. Ilmeisesti palaturvekerroksen tiivistyminen pääosin tapahtui traktorilla suoritettuna levityksen ja muotoilun aikana. Turvekerroksen paksuus tiivistettynä poikkesi suunnitellusta paksuudesta enimmillään 6 cm (taulukko 5). Keskimäärin tiivistymisen aiheuttama kokoonpuristuminen oli 13 mm. Rakenteeseen tiivistetty palaturve todettiin silmäämääräisen tarkastelun perusteella tasalaatuiseksi.

Taulukko 5. Turvekerroksen tiivistyminen ja paksuus tiivistettynä.

PLV	Turvekerroksen paksuus tiivistettynä / tiivistyminen (cm)			Suunniteltu paksuus (cm)
	Vasen	KL	Oikea	
720-740	30/0	29/-1	28/-2	30
740-760	33/0	31/-2	30/-3	33
760-780	34/-2	36/0	32/-4	36
780-800	39//0	39/0	37/-2	39
800-820	42/-5	42/0	42/0	42
820-840	42/-2	45/0	45/0	45
840-860	42/-2	45/-3	44/-4	48
860-880	43/-5	47/-4	51/0	51
880-900	50/-4	54/0	*	54
900-920	52/-5	57/0	*	57
920-940	55/-5	60/0	*	60

*Turvekerroksen paksuutta ja tiivistymistä ei mitattu

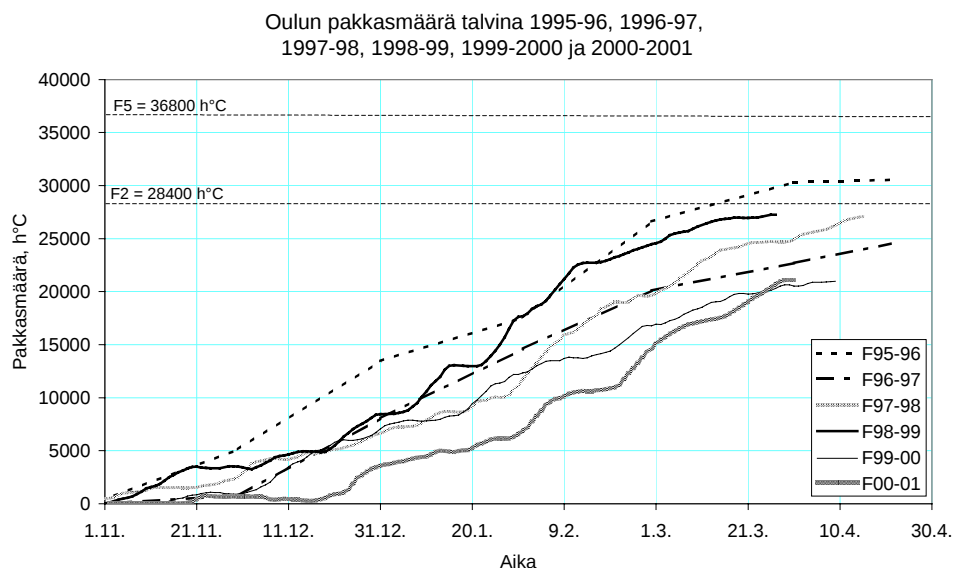
5 SEURANTAMITTAUKSET

5.1 Koerakenteen instrumentointi

Rantsilan koerakenteen instrumentointi toteutettiin asentamalla vertailurakenteeseen PI 1015 kohdalle pohjavesiputki, Gandahlin putki sekä Pt-100 lämpötilasauva. Turveosuudelle PI 730 ja 880 kohdalle asennettiin Pt-100 lämpötilasauvat, turpeen ylä- ja alapintaan Pt-100-anturit, kosteus- ja lämmönjohtavuusanturit turvekerrokseen (2 kpl), pohjavesiputket sekä Gandahlin putket. PI 730, 880 ja 1015 kohdilla seurattiin lisäksi lumen syvyyttä tien molemmin puolin 1 ja 2 m etäisyydellä päällysteen reunasta. Vaaituksia varten merkittiin päällysteeseen vaaituspisteet maalilla. Koerakenteen instrumentointi on esitetty yksityiskohtaisesti liitteessä 3.

5.2 Pakkasmäärä

Seurantamittausten aikaisten talvien pakkasmäärät olivat seuraavat: $F_{95-96} = 30538 \text{ h}^\circ\text{C}$, $F_{96-97} = 24520 \text{ h}^\circ\text{C}$, $F_{97-98} = 27067 \text{ h}^\circ\text{C}$, $F_{98-99} = 27266 \text{ h}^\circ\text{C}$, $F_{99-00} = 20978 \text{ h}^\circ\text{C}$ ja $F_{00-01} = 21096 \text{ h}^\circ\text{C}$. Talvi 1995-96 vastasi pakkasmäärältään hieman keskimääräistä kylmempää talvea, talvi 1996-97 hieman keskimääräistä leudompaa talvea, talvet 1997-98 ja 1998-99 noin keskimääräistä talvea ja talvet 1999-2000 ja 2000-2001 keskimäärin noin kerran 5 vuodessa toistuvaa leutoa talvea. Kuvassa 13 on esitetty pakkasmäärän kertyminen seurantalvien 1996-2001 aikana.



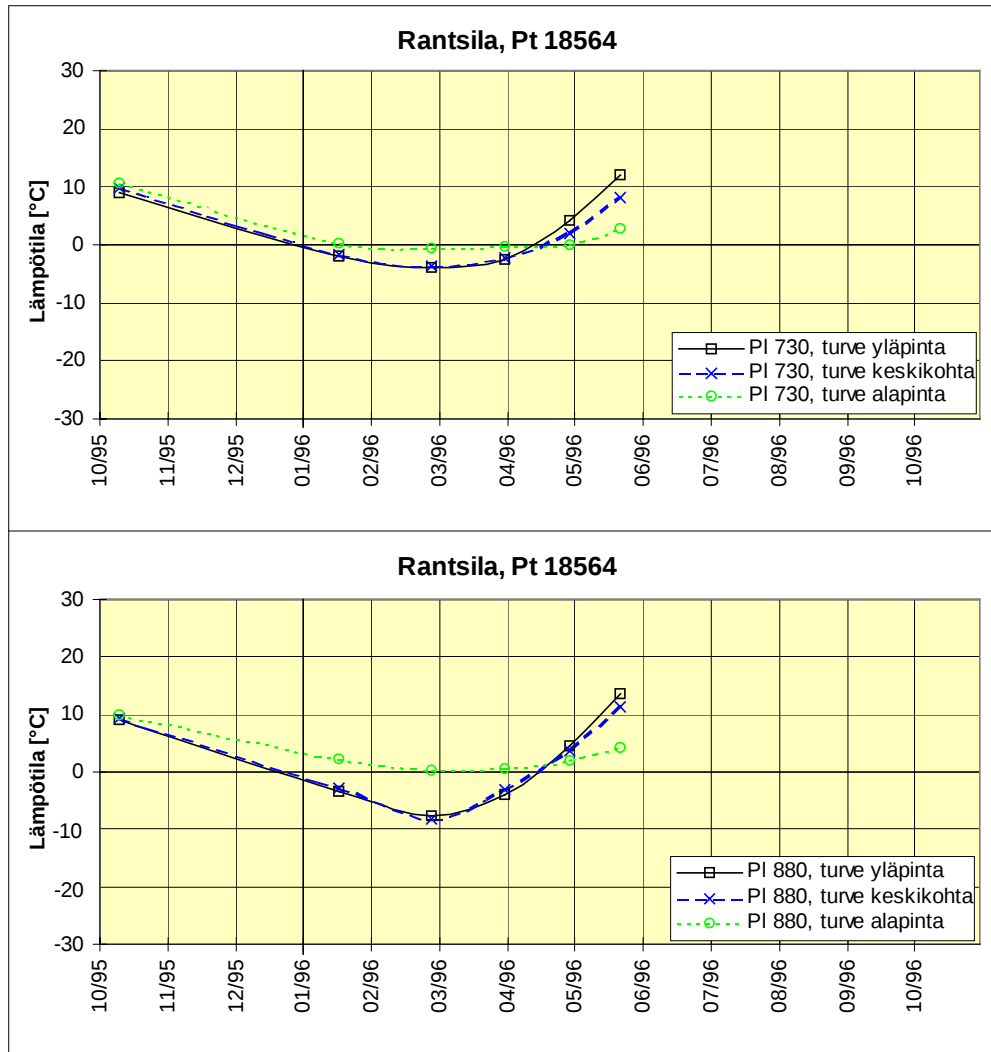
Kuva 13. Pakkasmäärän kertyminen Oulussa seurantalvien 1996-2001 aikana.

5.3 Lämpötilamittaukset

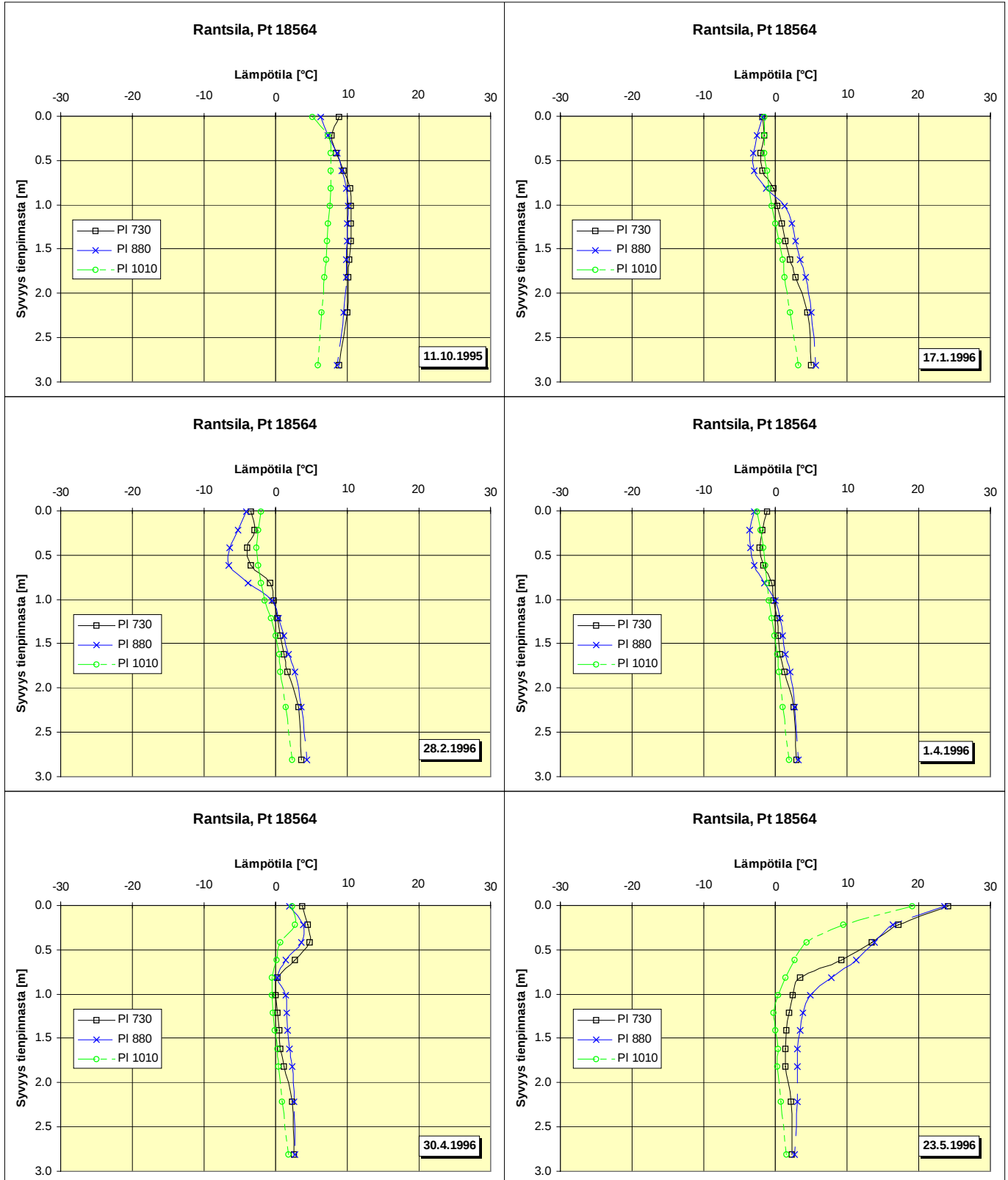
Lämpötilamittauksia tehtiin palaturverakenteen ja vertailurakenteena toimivan masuunihiekkarakenteen yhteydessä. Kuvassa 14 on esitetty lämpötilat palaturverakenteen ala-, keski- ja yläosassa ensimmäisenä seurantal-

vena 1995-96, joka oli seurantamittausten aikaisista talvista kylmin. Kuvas-
sa 15 on esitetty talven 1995-96 aikaiset lämpötilaprofiilit palaturveraken-
teen ja masuunihiekkarakenteen yhteydessä.

Turvekerroksen aiheuttama suuri lämpötilagradientti oli erityisen selvästi
nähtävissä helmikuussa 28.2.1996 suoritetuissa mittauksissa (kuvat 15).
Turverakenteen ohuemmassa päässä turvekerroksen ylä- ja alapinnan
lämpötilaero oli suurimmillaan 3,55 °C ja paksummassa päässä 7,9 °C
(helmikuu 1996) (kuva 14).



Kuva 14. Lämpötila turvekerroksen ylä- ja alapinnassa sekä keskellä Rant-
silan koerakennekohteessa.



Kuva 15. Rantsilan koerakennuskohteen lämpötilaprofiilit 11.10.1995, 17.1.1996, 28.2.1996, 1.4.1996, 30.4.1996 ja 23.5.1996.

5.4 Palaturverakenteen kosteustila

Palaturverakenteen kosteustilan mittaukset aloitettiin 11.10.1995. Palaturvekerroksen keskikohdan laskennallinen tilavuusvesipitoisuus oli paalun PI 730 (palaturvekerroksen paksuus 30 cm) kohdalla 16,8 % ja PI 880 (palaturvekerroksen paksuus 53 cm) kohdalla 13,8 % (kuva 16). Turpeen tilavuusvesipitoisuudessa ei tapahtunut suuria muutoksia talven aikana, mutta keväällä kohdan PI 730 tilavuusvesipitoisuus kasvoi selvästi. Pienin tilavuusvesipitoisuus kohdassa PI 730 oli 28.2.1996 15,1 % ja suurin 23.5.1996 21,7 %, eli turvekerros oli selvästi kostunut syksyn mittauksesta. Kohdassa PI 880 tilavuusvesipitoisuus kasvoi mittausajanjakson aikana 1,5 % ollen 23.5.1996 15,3 %.

Havaintokaudella 1996-97 PI 730 turvekerroksen tilavuusvesipitoisuus vaihteli välillä 16,3...43,8 %. Kohteessa oli selvästi havaittavissa turvekerroksen jäätymisestä aiheutuva tilavuusvesipitoisuuden aleneminen. Paalulla PI 730 turvekerroksen tilavuusvesipitoisuus oli kohonnut selvästi havaintokauden 1995-96 havainnoista, 16,8 %:sta 43,8 %:iin. Paalulla PI 880 turvekerroksen tilavuusvesipitoisuus vaihteli välillä 15,5...16,8 %. Kohteessa havaittu jäätyminen aiheuttamaa tilavuusvesipitoisuuden alenemista. PI 880 turvekerroksen tilavuusvesipitoisuus oli samaa suuruusluokkaa kuin havaintokaudella 1995-96.

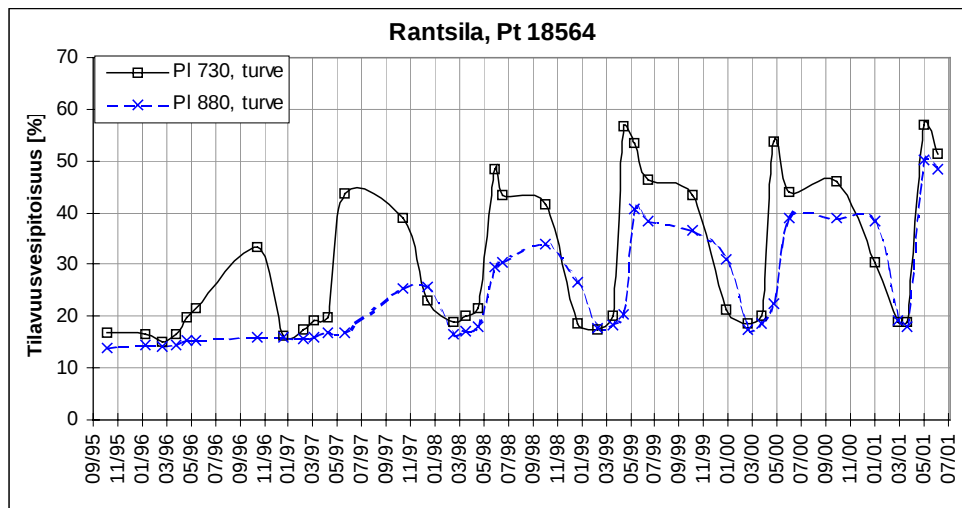
Havaintokaudella 1997-98 PI 730 turvekerroksen sulan tilan tilavuusvesipitoisuus vaihteli syksyn 39,0 %:sta alkukesän 48,5 %:iin. Paalulla PI 730 turvekerroksen tilavuusvesipitoisuus oli noussut selvästi rakentamisen jälkeisestä vesipitoisuudesta 16,8 %:sta. Paalulla PI 880 turvekerroksen sulan tilan tilavuusvesipitoisuus vaihteli joulukuun 25,7 %:sta kesäkuun lopun 30,5 %:iin. Myös PI 880 turvekerroksen tilavuusvesipitoisuus oli noussut rakentamisen jälkeisestä vesipitoisuudesta 13,8 %:sta.

Havaintokaudella 1998-99 PI 730 turvekerroksen sulan tilan tilavuusvesipitoisuus vaihteli syksyn 41,7 %:sta kevään 56,8 %:iin. Paalulla PI 880 turvekerroksen sulan tilan tilavuusvesipitoisuus vaihteli syksyn 34,0 %:sta kevään 40,8 %:iin.

Havaintokaudella 1999-2000 PI 730 turvekerroksen sulan tilan tilavuusvesipitoisuus vaihteli syksyn 43,5 %:sta kevään 53,9 %:iin. Paalulla PI 880 turvekerroksen sulan tilan tilavuusvesipitoisuus vaihteli syksyn 36,6 %:sta kevään 39,0 %:iin.

Havaintokaudella 2000-2001 PI 730 turvekerroksen sulan tilan tilavuusvesipitoisuus vaihteli syksyn 46,2 %:sta kevään 56,9 %:iin. Paalulla PI 880 turvekerroksen sulan tilan tilavuusvesipitoisuus vaihteli syksyn 39,0 %:sta kevään 50,2 %:iin.

Kuvassa 16 on esitetty palaturvekerroksen tilavuusvesipitoisuuden kehitys Rantsilan koerakennekohteessa 11.10.1995-18.6.2001.



Kuva 16. Palaturvekerroksen tilavuusvesipitoisuuden kehitys Rantsilan koerakennuskohteessa 11.10.1995-18.6.2001.

Noin kuuden vuoden havaintojakson aikana turvekerroksen tilavuusvesipitoisuus vaihteli palaturverakenteen paksummassa päässä (palaturvekerroksen paksuus 53 cm) paalulla PI. 880 välillä 13,8...50,2 % ja ohuemmassa päässä (palaturvekerroksen paksuus 30 cm) paalulla PI. 730 välillä 16,8...56,9 % (sulane tilan arvot).

5.5 Palaturverakenteen lämmönjohtavuus

Ensimmäisen seurantalven aikana palaturvekerroksen jäätyminen ei vaikuttanut merkittävästi turpeen lämmöneristyskykyyn. Suoritetuissa mittauksissa turpeen lämmönjohtavuus vaihteli välillä 0,17...0,21 W/Km.

Havaintokaudella 1996-97 palaturpeen lämmönjohtavuus oli kohonnut selvästi havaintokauden 1995-96 mittauksista. Palaturpeen lämmönjohtavuus vaihteli PI 730 välillä 0,35...0,52 W/Km ja PI 880 välillä 0,32...0,35 W/Km. Keväällä sulamisvedet aiheuttivat häiriöitä lämmönjohtavuuden määrittelyyn. Molemmissa poikkileikkauksissa lämmönjohtavuuksissa tapahtui selvää kasvua.

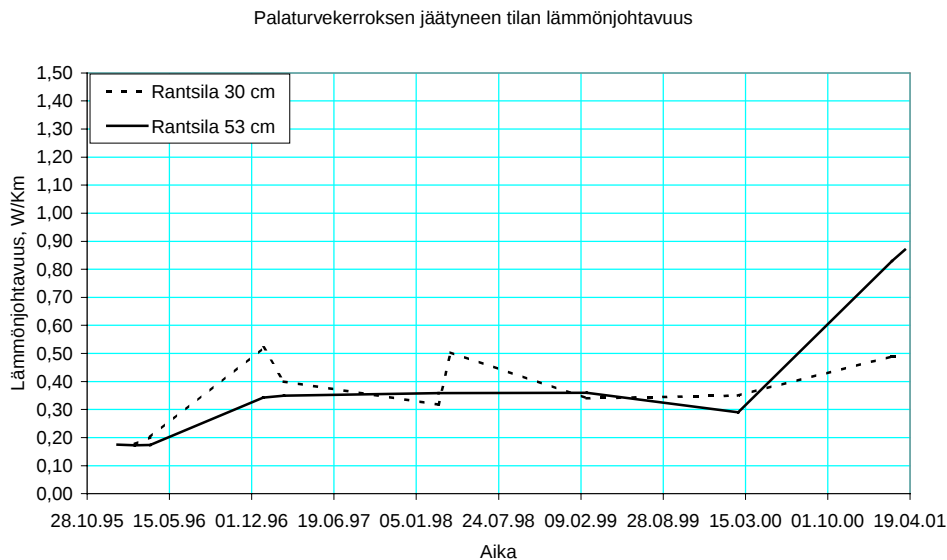
Havaintokaudella 1997-98 palaturpeen lämmönjohtavuus vaihteli PI 730 välillä 0,22...0,51 W/Km ja PI 880 välillä 0,23...0,61 W/Km.

Havaintokaudella 1998-99 aikana palaturpeen lämmönjohtavuus vaihteli paalulla PI. 730 välillä 0,22...0,34 W/Km ja paalulla PI. 880 välillä 0,22...0,36 W/Km.

Havaintokaudella 1999-2000 aikana palaturpeen lämmönjohtavuus vaihteli paalulla PI. 730 välillä 0,23...0,45 W/Km ja paalulla PI. 880 välillä 0,23...0,46 W/Km.

Havaintokaudella 2000-2001 aikana palaturpeen lämmönjohtavuus vaihteli paalulla PI. 730 välillä 0,42...0,57 W/Km ja paalulla PI. 880 välillä 0,40...0,87 W/Km.

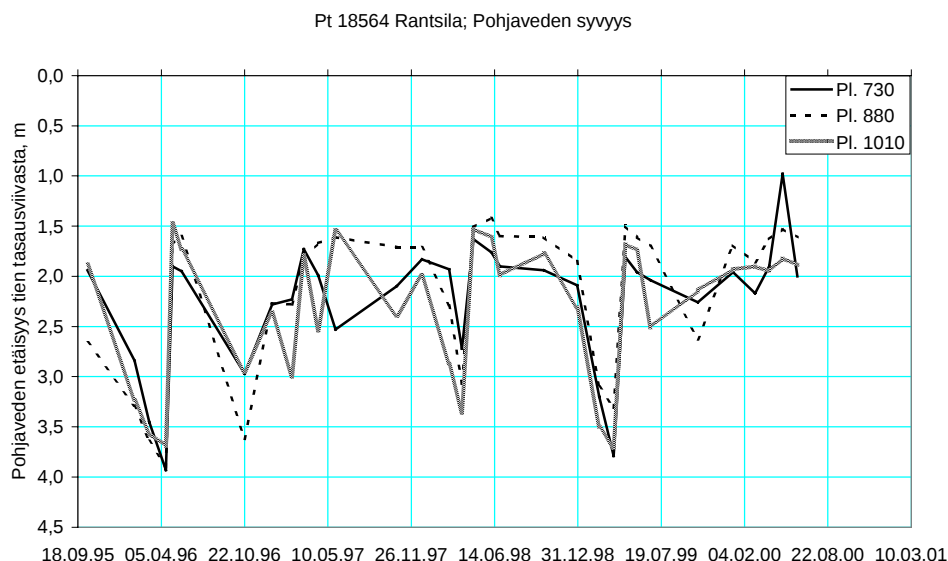
Noin kuuden vuoden havaintojakson aikana turvekerroksen lämmönjohtavuus vaihteli palaturverakenteen paksummassa päässä paalulla Pl. 880 välillä 0,17...0,87 W/Km ja ohuemmassa päässä paalulla Pl. 730 välillä 0,17...0,57 W/Km. Molemmissa poikkileikkauksissa lämmönjohtavuuksissa oli tapahtunut selvää kasvua rakentamisen jälkeiseen tilaan nähden. Voimakkainta kasvu oli viimeisen seurantavuoden aikana. Kuvassa 17 on esitetty palaturvekerroksen jäätyneen tilan lämmönjohtavuuden kehitys Rantsilan koerakennuskohteessa aikavälillä 11.10.1995-18.6.2001.



Kuva 17. Palaturvekerroksen jäätyneen tilan lämmönjohtavuuden kehitys Rantsilan koerakennuskohteessa 11.10.1995-18.6.2001.

5.6 Pohjaveden syvyys

Ensimmäisessä pohjaveden syvyyden mittauksessa 11.10.1995 pohjaveden etäisyys tien tasausviivasta oli palaturverakenteen yhteydessä Pl. 730 1,94 m ja Pl. 880 2,66 m. Vertailurakenteena toimivan masuunihiekkarakenteen yhteydessä pohjaveden etäisyys oli 1,88 m tien tasausviivasta. Seurantamittausten aikana pohjaveden asema vaihteli huomattavasti. Paalulla Pl. 730 pohjavedenpinta vaihteli välillä 0,98...3,93 m, paalulla Pl. 880 välillä 1,42...3,90 m ja masuunihiekkarakenteessa Pl. 1010 välillä 1,47...3,71 m tien tasausviivasta. Kuvassa 18 on esitetty pohjavedenpinnan muutokset koko seuranta-ajalta 11.10.1995 - 10.6.2000. Pohjaveden mittauksia ei tehty talvella 2000-2001.



Kuva 18. Pohjavedenpinnan etäisyys tien tasausviivasta Rantsilan koerakennuskohteessa 11.10.1995-10.6.2000.

5.7 Roudan syvyys

Ensimmäisenä seurantalvena 1995-96 palaturverakenteen yhteydessä paaluilla PI 730 (palaturvekerroksen paksuus 30 cm) ja PI 880 (palaturvekerroksen paksuus 53 cm) maksimi roudansyvyys oli lähes yhtä suuri (1,13 m ja 1,15 m). Kohdassa PI 730 routa eteni turvekerroksen läpi 0,19 m vanhaan tierakenteeseen ja kohdassa PI 880 routaraja oli turvekerroksessa 0,02 m turvekerroksen alapinnasta. Vertailurakenteessa PI 1010 kohdalla, jossa eristeenä oli käytetty masuunihiekkaa, routa eteni n. 0,40 m syvemmälle kuin turve-eristetyissä rakenteissa.

Talvella 1996-97 Gandahlin putkella mitattu suurin roudansyvyys turverakenteen paksummassa päässä oli 1,24 m ja ohuemmassa päässä 1,16 m. Masuunihiekkarakenteessa paalulla PI 1010 Gandahlin putkella mitattu suurin roudansyvyys oli 1,40 m. Lämpötilasauvalla mitatut maksimiroudan syvyydet olivat 0,06-0,12 m pienempiä kuin Gandahlin putkella mitatut arvot. Talvella 1996-97 molemmissa palaturpeen mittauspisteessä maksimi roudansyvyys oli suurempi kuin havaintokaudella 1995-96, vaikka talven 1996-97 pakkasmäärä oli n. 6000 Kh pienempi kuin talven 1995-96. Masuunihiekkarakenteessa maksimi roudansyvyys oli talvella 1996-97 0,15 m pienempi kuin talvella 1995-96.

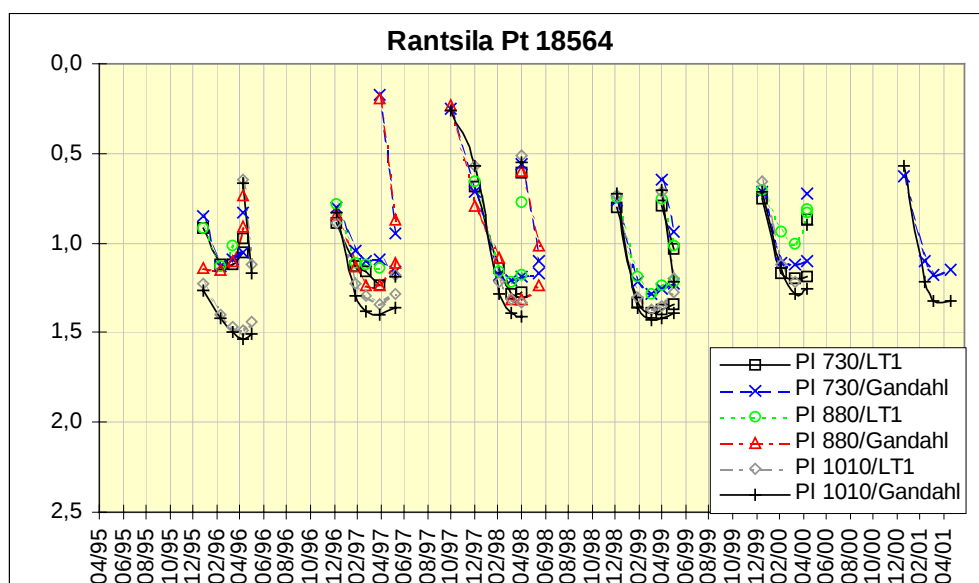
Talvella 1997-98 lämpötilamittauksilla määritetyt suurimmat roudansyvytydet olivat palaturverakenteen paksummassa päässä 1,22 m ja ohuemmassa päässä 1,28 m. Masuunihiekkarakenteessa paalulla PI 1010 lämpötilamittauksilla määritetty maksimi roudansyvyys oli 1,33 m. Gandahlin putkella mitatut roudansyvytydet olivat 0,07-0,09 m suurempia kuin lämpötilamittauksilla määritetyt arvot.

Talvella 1998-99 lämpötilamittauksilla määritetyt suurimmat roudansyvytydet olivat palaturverakenteen paksummassa päässä 1,28 m ja ohuemmassa

päässä 1,39 m. Masuunihiekkarakenteessa paalulla PI 1010 lämpötilamittauksilla määritetty suurin roudansyvyys oli 1,37 m.

Talvella 1999-2000 lämpötilamittauksilla määritetyt suurimmat roudansyvyydet olivat palaturverakenteen paksummassa päässä 1,00 m (palaturvekerroksen paksuus 53 cm) ja ohuemmassa päässä 1,20 m (palaturvekerroksen paksuus 30 cm). Masuunihiekkarakenteessa paalulla PI 1010 lämpötilamittauksilla määritetty suurin roudansyvyys oli 1,22 m.

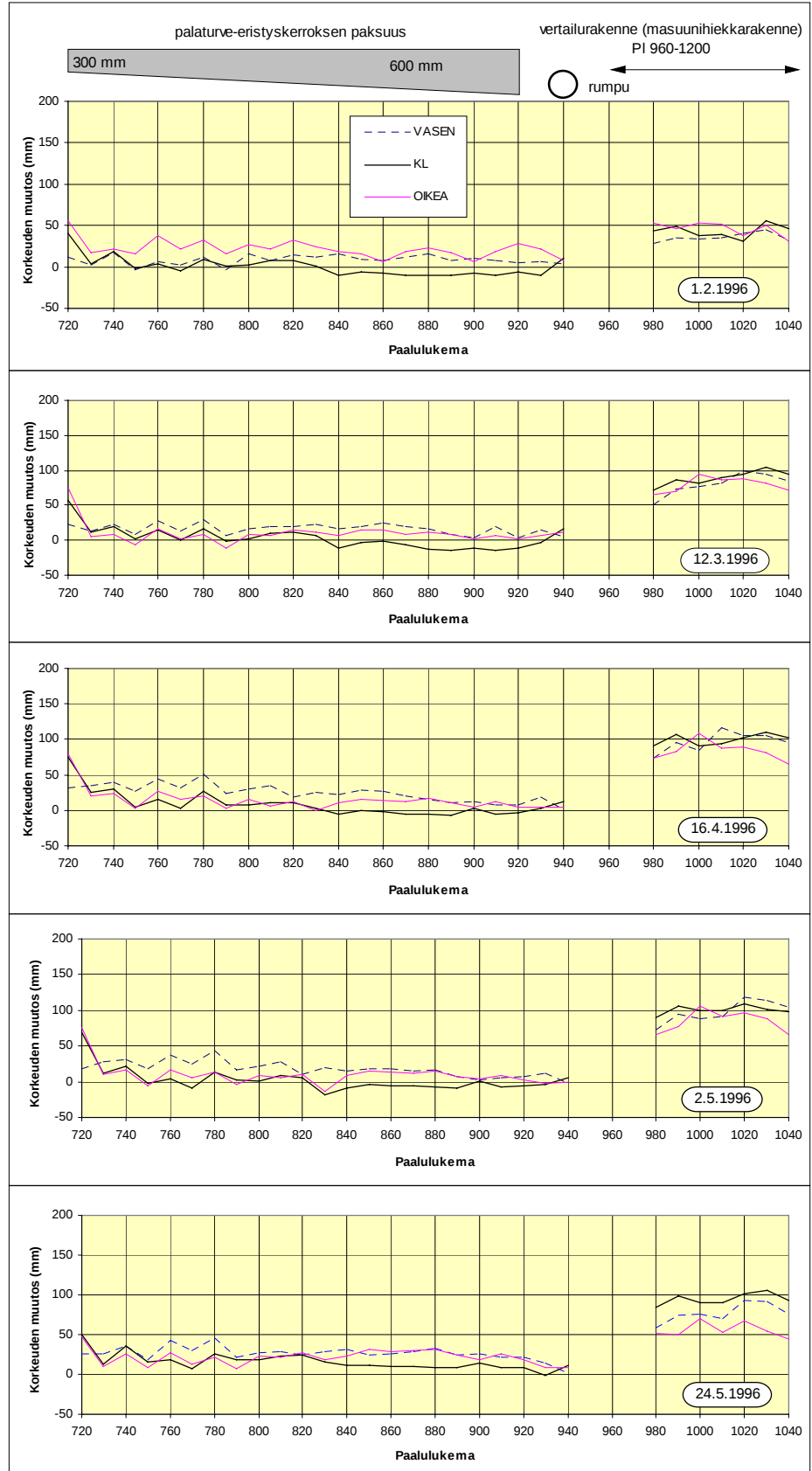
Talvella 2000-2001 roudansyvyyshavaintoja saatiin palaturverakenteesta vain ohuemmassa päästä. Suurin roudansyvyys PI 730 1,18 m saavutettiin maaliskuun lopulla. Masuunihiekkarakenteessa PI 1010 vastaavana ajankohtana mitattiin roudansyvyydeksi 1,32 m. Kuvassa 19 on esitetty seurantatalvien 1996-2001 aikaiset roudan ja sulamisen syvyydet.



Kuva 19. Roudan syvyys Rantsilan koerakennuskohteessa seurantatalvien 1995-96, 1996-97, 1997-98, 1998-99, 1999-2000 ja 2000-2001 aikana.

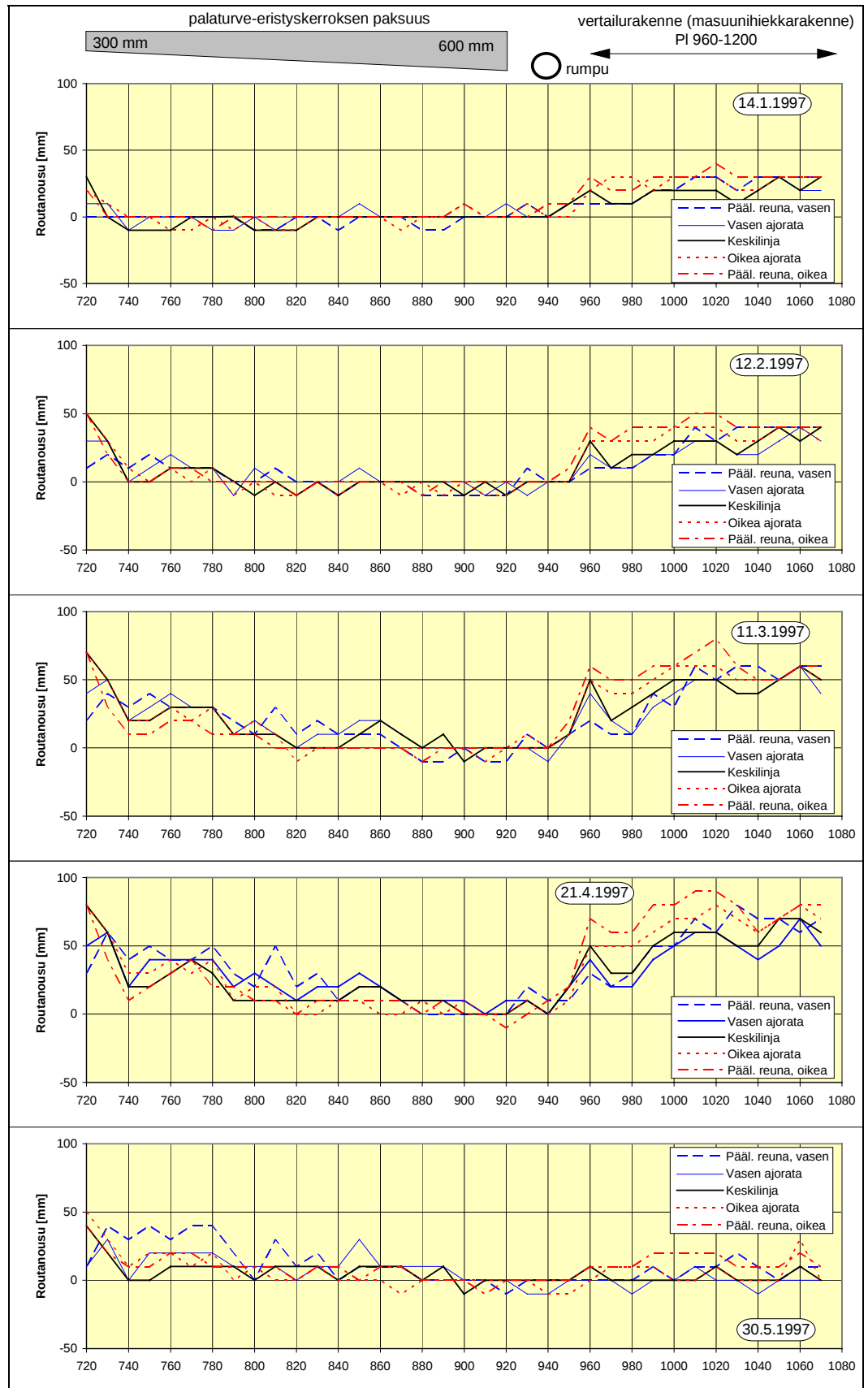
5.8 Routanousu

Ensimmäisen seurantatalven aikana havaittiin vaaitustulosten perusteella, että palaturve-eristetyllä tieosuudella oli tapahtunut sekä painumista että routimista. Palaturverakenteen kohdalla suurin routanousu oli 80 mm PI 720 kohdalla. Koko palaturverakennetta tarkastellen routiminen oli varsin vähäistä (< 50 mm), lisäksi lievät routanousuerot näyttivät tasaantuvan palaturvekerroksen paksuuden kasvaessa. Palaturverakenteen kohdalla suurin painuma tien pinnan korkeuden muutoksen perusteella oli 19 mm (PI 830 2.5.1996) (kuva 20). 1.2.1996 suoritetussa vaaituksessa oli korkeus oikean kaistan kohdalla Plv 750...930 luettu ilmeisesti väärän maalimerkin kohdalta, joten niiltä osin tulokset olivat epäluotettavia. Masuunihiekkarakenteessa routanousu oli suurimmillaan 117 mm PI 1010 kohdalla 16.4.1996. Masuunihiekkarakenteesta mitatut routanousut olivat selvästi suurempia kuin palaturve-eristetyn rakenteen.



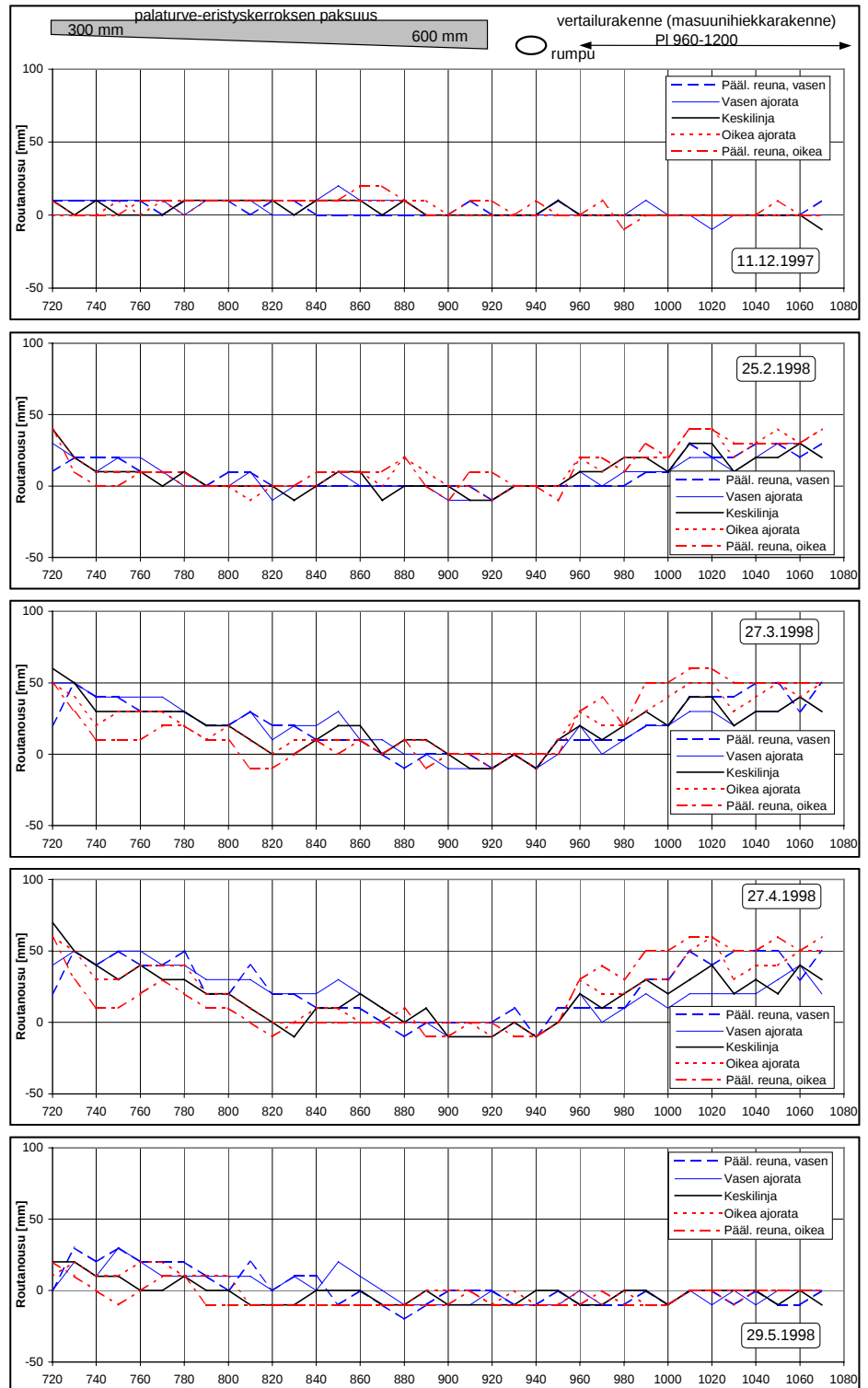
Kuva 20. Tienpinnan routanousut Rantsilan koerakennukohteessa talvella 1995-96.

Talvella 1996-97 suurin routanousu palaturve-eristetyllä osalla 80 mm mitattiin palaturverakenteen ohuemmassa päässä, jossa palaturvekerroksen paksuus oli 300 mm. Routanousu pieneni palaturvekerroksen paksuuden kasvaessa. Palaturvekerroksen paksuuden ollessa yli 400 mm havaittu routanousu oli enintään 50 mm. Koerakennukohteen suurin routanousu 90 mm havaittiin masuunihiekkarakenteessa 21.4.1997 paaluilla 1010 ja 1020. Palaturverakenteen keskimääräinen routanousu tien keskilinjalla 21.4.1997 oli 20 mm ja masuunihiekkarakenteen 45 mm. Routanousuhavainnoissa ei ollut merkittävää eroa tien keskilinjan ja reunan välillä (kuva 21).



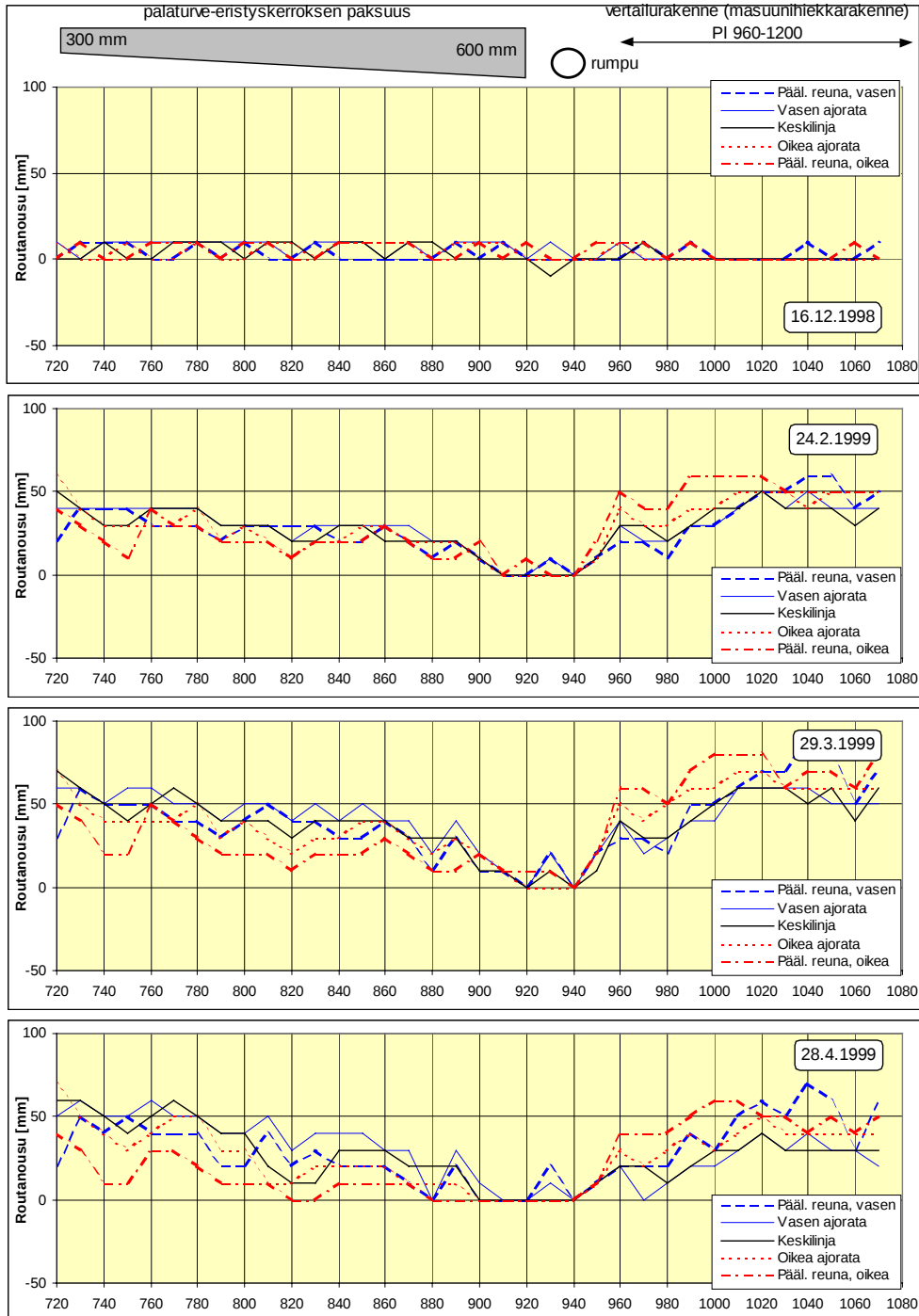
Kuva 21. Tienpinnan routanousut Rantsilan koerakennuskohteessa talvella 1996-97.

Talvella 1997-98 suurin routanousu palaturve-eristetyllä osalla 70 mm mitattiin palaturverakenteen ohuemmassa päässä, jossa palaturvekerroksen paksuus oli 300 mm. Routanousu pieneni palaturvekerroksen paksuuden kasvaessa. Palaturvekerroksen paksuuden ollessa yli 400 mm havaittu routanousu oli enintään 40 mm. Palaturverakenteen keskimääräinen routanousu tien keskilinjalla 27.4.1998 oli 19 mm ja masuunihiekkarakenteen 26 mm. Suurin routanousuero tien keskilinjan ja reunan välillä oli 50 mm palaturverakenteen ohuemmassa päässä (kuva 22).



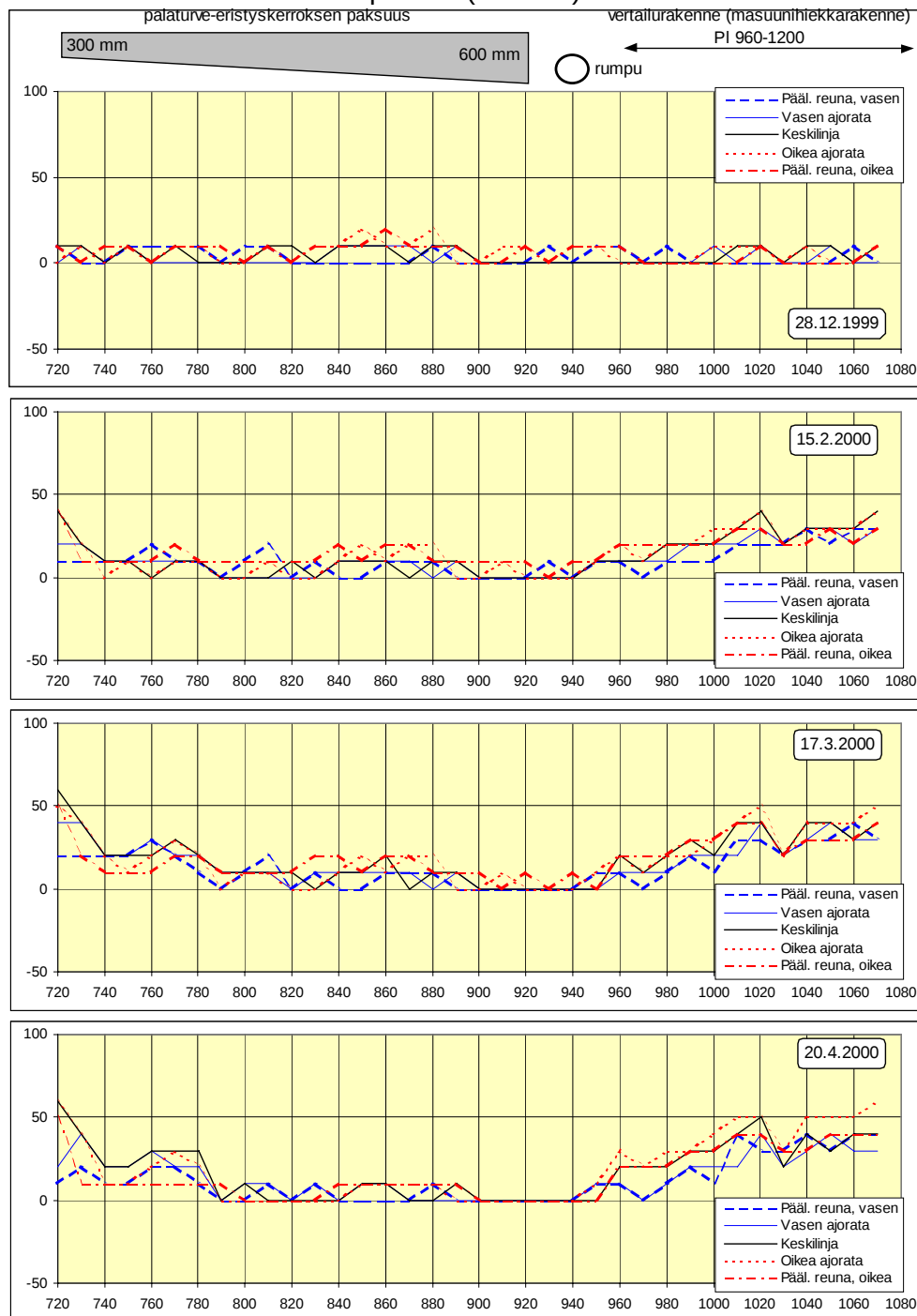
Kuva 22. Tienpinnan routanousut Rantsilan koerakennuskohteessa talvella 1997-98.

Talvella 1998-99 suurin routanousu palaturve-eristetyllä osalla 70 mm mitattiin palaturverakenteen ohuemmassa päässä, jossa palaturvekerroksen paksuus oli 300 mm. Routanousu pieneni palaturvekerroksen paksuuden kasvaessa. Palaturvekerroksen paksuuden ollessa yli 400 mm havaittu routanousu oli enintään 50 mm. Palaturverakenteen keskimääräinen routanousu tien keskilinjalla 29.3.1999 oli 38 mm ja masuunihiekkarakenteen 48 mm. Suurin routanousuero tien keskilinjalla ja reunan välillä oli 40 mm turverakenteen ohuemmassa päässä (kuva 23).



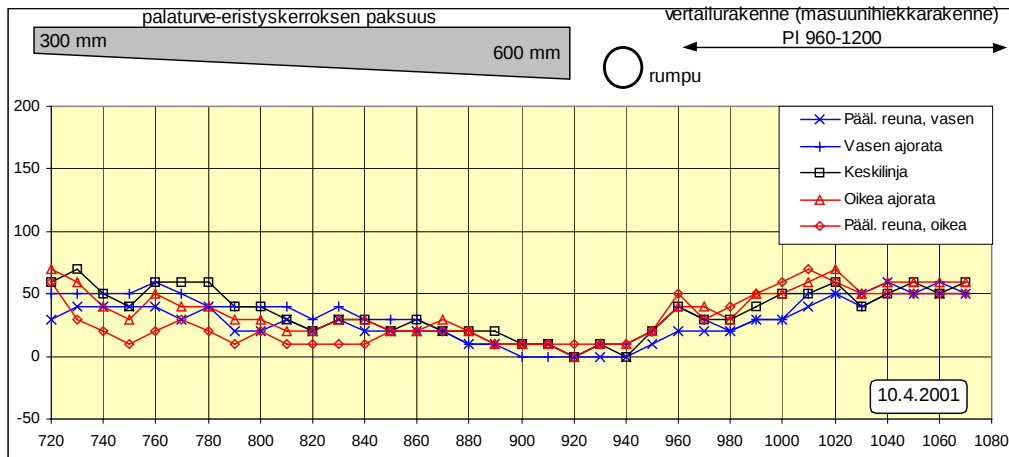
Kuva 23. Tienpinnan routanousut Rantsilan koerakennuskohteessa talvella 1998-99.

Talvella 1999-2000 suurin routanousu palaturve-eristetyllä osalla 60 mm mitattiin palaturverakenteen ohuemmassa päässä, jossa palaturvekerroksen paksuus oli 300 mm. Routanousu pieneni palaturvekerroksen paksuuden kasvaessa. Palaturvekerroksen paksuuden ollessa yli 400 mm havaittu routanousu oli enintään 10 mm. Palaturverakenteen keskimääräinen routanousu tien keskilinjalla 20.4.2000 oli 13 mm ja masuunihiekkarakenteen 32 mm. Suurin routanousuero tien keskilinjalla ja reunan välillä oli 50 mm turverakenteen ohuemmassa päässä (kuva 24).



Kuva 24. Tienpinnan routanousut Rantsilan koerakennuskohteessa talvella 1999-2000.

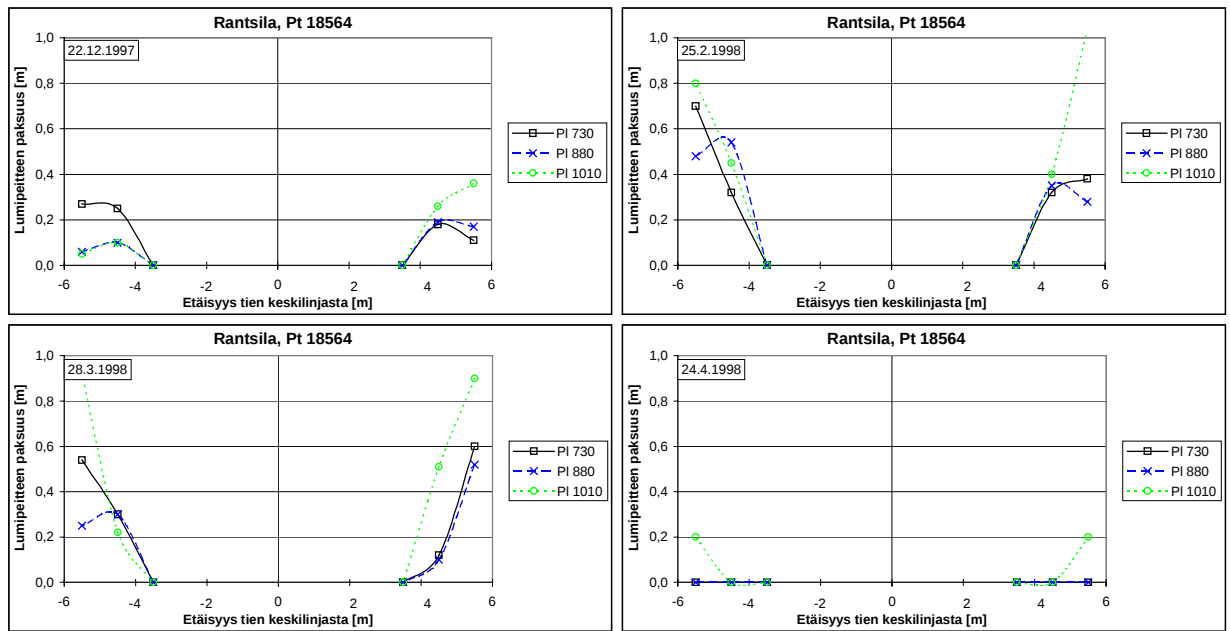
Talvella 2000-2001 suurin routanousu palaturve-eristetyllä osalla 70 mm mitattiin palaturverakenteen ohuemmassa päässä, jossa palaturvekerroksen paksuus oli 300 mm. Routanousu pieneni palaturvekerroksen paksuuden kasvaessa. Palaturvekerroksen paksuuden ollessa yli 400 mm havaittu routanousu oli enintään 40 mm. Palaturverakenteen keskimääräinen routanousu tien keskilinjalla 10.4.2001 oli 34 mm ja masuunihiekkarakenteen turverakenteen ohuemmassa päässä (kuva 25).



Kuva 25. Tienpinnan routanousut Rantsilan koerakennuskohteessa 10.4 talvella 2000-2001.

5.9 Lumipeitteen paksuus

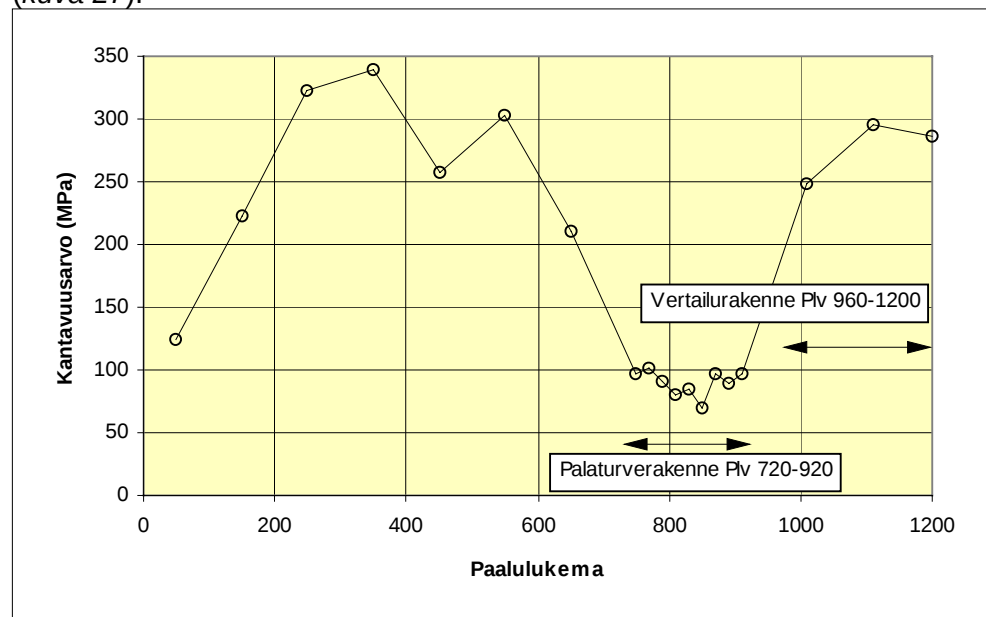
Rantsilan koerakennuskohteessa lumipeitteen paksuutta mitattiin talvina 1996-1998 tien molemmilta puolilta 0-6 m:n etäisyydeltä tien keskilinjasta. Suurimmat lumenpaksuudet mitattiin noin 2 metrin etäisyydellä tien reunasta: talvella 1995-96 0,63 m, talvella 1996-97 0,65 m, talvella 1997-98 helmikuussa 1,04 m. Kuvassa 26 on esitetty lumisimman talven 1997-98 lumipeitten paksuudet tien reunassa paaluilla Pl. 730, Pl. 880 ja Pl. 1010.



Kuva 26. Lumipeitteen paksuus Rantsilan koerakennuskohteessa paaluilla PI. 730, PI. 880 ja PI. 1010 22.12.1997, 25.2.1998, 28.3.1998 ja 24.4.1998.

5.10 Kantavuus

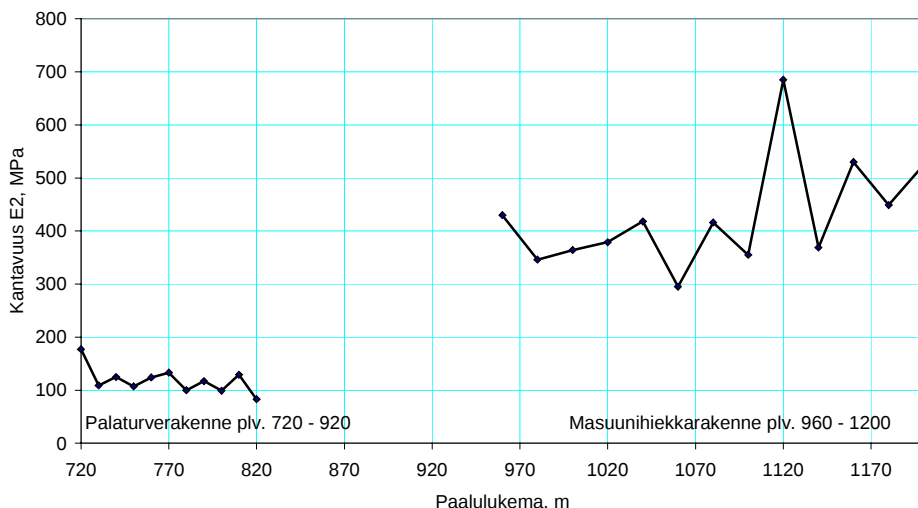
Rakentamisen jälkeen päällysteen pinnalta pudotuspainolaitteella suoritettujen mittausten perusteella paaluvälillä 0-650 kantavuusarvot vaihtelivat 125...339 MPa:n välillä keskiarvon ollessa 254 MPa. Palaturveosuudella kantavuusarvot vaihtelivat 70...101 MPa välillä. Alimmillaan kantavuudet olivat palaturverakenteen keskikohdalla Plv 810...850. Masuunihiekkarakenteessa kantavuudet vaihtelivat 249...295 MPa:n välillä ollen siten huomattavasti suurempia kuin palaturverakenteen kohdalla määritetyt arvot (kuva 27).



Kuva 27. Kantavuusarvot paaluvälillä 0-1200 rakentamisen jälkeen (26.9.1996) pudotuspainolaitteella määritettynä.

Seuraavat kantavuusmittaukset suoritettiin 8.10.1999. Palaturverakenteessa kantavuudet E2 vaihtelivat välillä 83...177 MPa, keskiarvon ollessa 118 MPa. Masuunihiekkarakenteessa kantavuudet E2 vaihtelivat välillä 295...685 MPa, keskiarvon ollessa 428 MPa. Kuvassa 28 on esitetty kantavuusmittausten tulokset.

Pt 18564 Rantsila, kantavuusmittaukset 8.10.1999



Kuva 28. Kantavuusmittausten tulokset 8.10.1999.

5.11 Tasaisuus

Elokuussa 1997 suoritettujen IRI-tasaisuusmittausten tulokset on esitetty taulukossa 6. Paaluväli 674 - 774 sijoittuu osin koealueen ulkopuolelle ja osin turveosuudelle, paaluväli 774 - 874 sijoittuu turveosuudelle, paaluväli 874 - 974 sijoittuu osin turveosuudelle ja osin masuunihiekkarakenteelle ja paaluväli 974 - 1174 sijoittuu vertailurakenteena toimivalle masuunihiekkarakenteelle.

Taulukko 6. IRI-tasaisuusmittausten tulokset kesällä 1997.

Alkupl.	Loppupl.	IRI/kesä-97 suunta11	IRI/kesä-97 suunta 21
674	774	2,4	1,7
774	874	1,9	2,0
874	974	1,6	1,7
974	1074	2,3	2,6
1074	1174	2,1	1,8
1174	1274	2,0	1,6

Vuonna 1998 tien tasaisuusmittaukset suoritettiin 4.5.1998 ja 17.8.1998. Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty IRI - tasaisuusmittausten tulokset (paalutus työmaapaalutuksen mukainen). Paaluväli 721 - 921 sijoittuu turveosuudelle, paaluväli 921 - 1021 sijoittuu osin masuunihiekkarakenteelle, paaluväli 1021 - 1221 sijoittuu pääosin masuunihiekkarakenteelle. Paaluväli 1221 - 1621 sijoittuu koealueen ulkopuolelle.

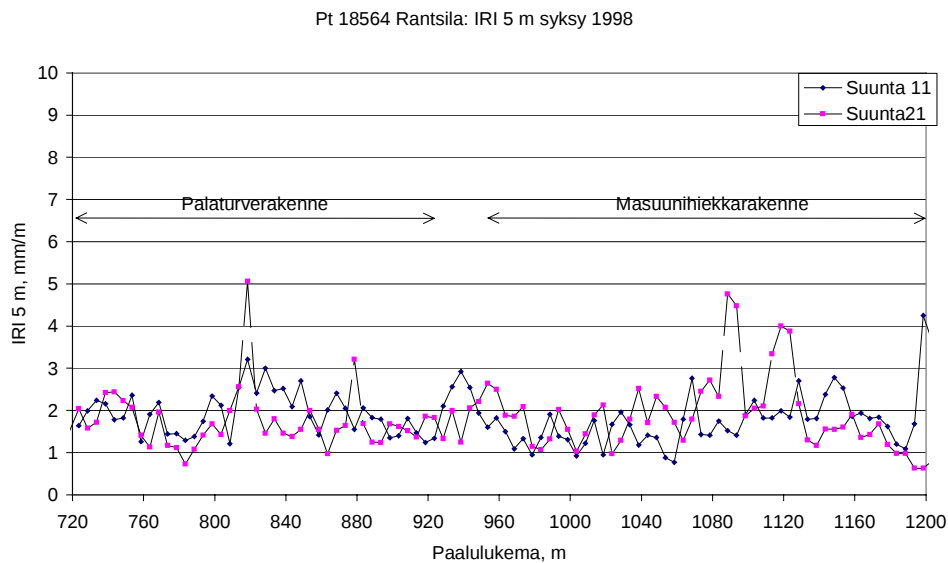
Taulukko 7. IRI-tasaisuusmittausten tulokset Rantsilassa keväällä 1998.

Alkupl.	oppupl.	RI/keväät-98 suunta11	RI/keväät-98 suunta 21	RI4/keväät-98 suunta 11	RI4/keväät-98 suunta 21	Huom.
621	721		2,50		1,36	
721	821	2,72	1,88	1,52	1,25	Furverak.
821	921	2,17	1,83	1,21	1,17	"
921	1021	1,96	1,83	1,14	1,21	sin masuuni-hiekka
1021	1121	1,73	2,04	1,13	1,48	Masuuni-hiekka
1121	1221	1,90	1,57	1,23	0,93	Pääosin masuuni-hiekka
1221	1321	1,90	1,73	1,06	1,08	
1321	1421	1,98	2,23	1,02	1,33	
1421	1521	1,91	1,68	1,16	0,96	
1521	1621	2,51		1,28		

Taulukko 8. IRI-tasaisuusmittausten tulokset Rantsilassa kesällä 1998.

Alkupl.	oppupl.	RI/kesä-98 suunta11	RI/kesä-98 suunta 21	RI4/kesä-98 suunta 11	RI4/kesä-98 suunta 21	Huom.
621	721		2,23		1,30	
721	821	1,91	1,67	1,16	1,16	Furverak.
821	921	1,97	1,82	1,16	1,19	"
921	1021	1,61	1,72	1,12	1,32	sin masuuni-hiekka
1021	1121	1,63	2,25	1,21	1,47	Masuuni-hiekka
1121	1221	2,12	1,66	1,23	0,98	Pääosin masuuni-hiekka
1221	1321	1,73	1,26	1,13	1,03	
1321	1421	1,55	1,90	0,96	1,34	
1421	1521	1,62	1,41	1,13	1,02	
1521	1621	1,83		1,22		

Kuvassa 29 on esitetty tasaisuusmittauksilla määritetyt 5 m IRI-arvot koe-osuuksilla.



Kuva 29. Tasaisuusmittauksilla määritetyt 5 m IRI-arvot koeosuuksilla.

Palaturveosuudella kesällä mitatut 5 m IRI-arvot vaihtelivat välillä 0,73...5,06 mm/m, keskiarvon ollessa 1,85 mm/m ja masuunihiekkarakenteessa 5 m IRI-arvot vaihtelivat välillä 0,63...4,76 mm/m, keskiarvon ollessa 1,85 mm/m.

Vuonna 1999 tien tasaisuusmittaukset suoritettiin 6.5.1999 ja 4.8.1999. Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty IRI - tasaisuusmittausten tulokset (paalutus työmaapaalutuksen mukainen). Paaluväli 721 - 921 sijoittuu turveosuudelle, paaluväli 921 - 1021 sijoittuu osin masuunihiekkarakenteelle, paaluväli 1021 - 1221 sijoittuu pääosin masuunihiekkarakenteelle. Paaluväli 1221 - 1621 sijoittuu koealueen ulkopuolelle.

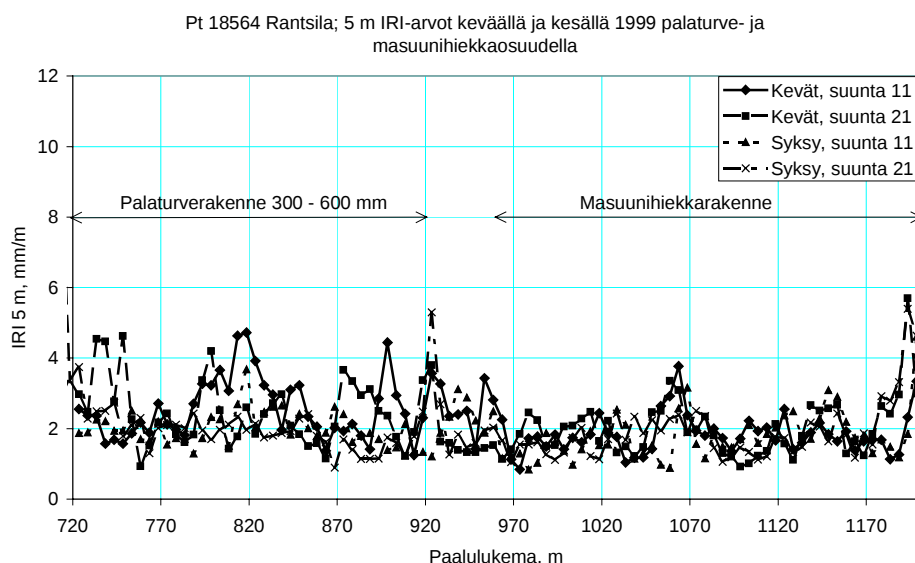
Taulukko 9. IRI-tasaisuusmittausten tulokset Rantsilassa keväällä 1999.

Alkupl.	Loppupl.	IRI/keväät-99 suunta11	IRI/keväät-99 suunta 21	IRI4/keväät-99 suunta 11	IRI4/keväät-99 suunta 21	Huom.
621	721		3,78		2,08	
721	821	2,56	2,63	1,57	1,19	Turverak.
821	921	2,56	2,29	1,36	1,44	"
921	1021	2,09	1,85	1,12	1,10	Osin masuunihiekka
1021	1121	1,97	1,81	1,27	1,09	Masuunihiekka
1121	1221	2,03	2,32	1,33	1,47	Pääosin masuunihiekka
1221	1321	2,08	2,00	1,22	1,11	
1321	1421	1,87	1,88	1,05	1,14	
1421	1521	1,84	2,46	1,09	1,37	
1521	1621	2,41		1,32		

Taulukko 10. IRI-tasaisuusmittausten tulokset Rantsilassa kesällä 1999.

Alkupl.	Lop- pupl.	IRI/kesä-99 suunta11	IRI/kesä-99 suunta 21	IRI4/kesä-99 suunta 11	IRI4/kesä-99 suunta 21	Huom.
621	721		2,94		1,97	
721	821	2,02	2,21	1,14	1,25	Turverak.
821	921	1,96	1,69	1,12	1,15	"
921	1021	1,71	1,76	1,04	1,09	Osin ma- suuni- hiekk
1021	1121	1,72	1,81	1,27	1,36	Masuuni- hiekk
1121	1221	2,26	2,46	1,43	1,56	Pääosin masuuni- hiekk
1221	1321	1,86	1,76	1,14	1,06	
1321	1421	1,94	1,36	1,16	1,06	
1421	1521	1,64	1,90	1,14	1,39	
1521	1621	1,90		1,19		

Kuvassa 30 on esitetty tasaisuusmittauksilla määritetyt 5 m IRI-arvot koe-
osuuksilla keväällä maksimiroudan aikaan ja kesällä vuonna 1999.



Kuva 30. Tasaisuusmittauksilla määritetyt 5 m IRI-arvot keväällä maksimi-
routaan aikaan ja kesällä vuonna 1999.

Vuonna 1999 keväällä mitatut 5 m IRI-arvot vaihtelivat turveosuudella välillä 1,25...4,72 mm/m, keskiarvon ollessa 2,51 mm/m ja masuunihiekkaosuudella välillä 0,84...5,70 mm/m, keskiarvon ollessa 1,92 mm/m. Kesällä mitatut 5 m IRI-arvot vaihtelivat turveosuudella välillä 0,86...3,74 mm/m, keskiarvon ollessa 1,97 mm/m ja masuunihiekkaosuudella välillä 0,84...5,40 mm/m, keskiarvon ollessa 1,85 mm/m.

Vuonna 2000 tien tasaisuusmittaukset suoritettiin 13.4.2000 ja 2.8.2000. Taulukoissa 11 ja 12 on esitetty IRI - tasaisuusmittausten tulokset (paalutus

työmaapaalutuksen mukainen). Paaluväli 721 - 921 sijoittuu turveosuudelle, paaluväli 921 - 1021 sijoittuu osin masuunihiekkarakenteelle, paaluväli 1021 - 1221 sijoittuu pääosin masuunihiekkarakenteelle. Paaluväli 1221 - 1621 sijoittuu koealueen ulkopuolelle.

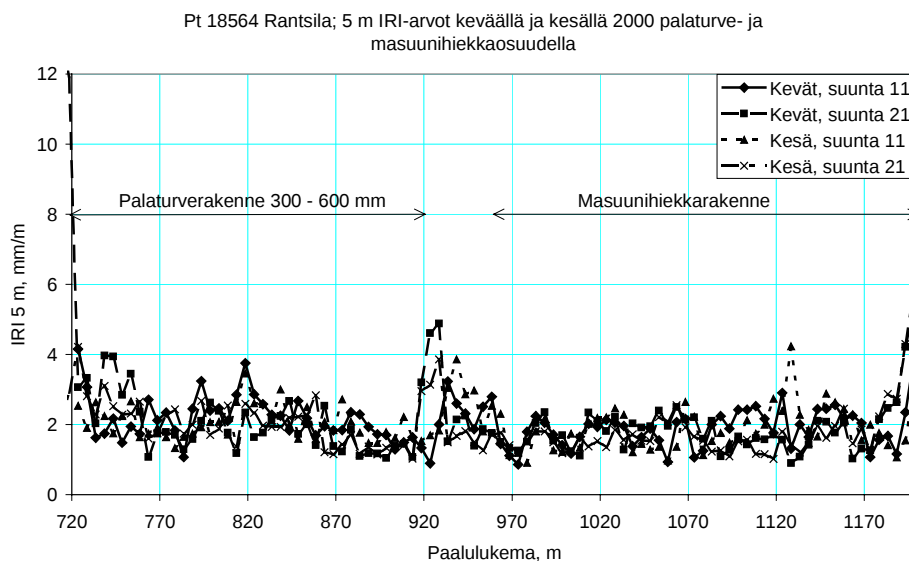
Taulukko 11. IRI-tasaisuusmittausten tulokset Rantsilassa keväällä 2000.

Alkupil.	Loppupil.	IRI/kevä-00 suunta11	IRI/kevä-00 suunta 21	IRI4/kevä- 00 suunta 11	IRI4/kevä- 00 suunta 21	Huom.
621	721		5,20		2,08	
721	821	2,36	2,31	1,45	1,21	Turverak.
821	921	1,95	1,71	1,21	1,24	"
921	1021	1,89	2,01	1,02	1,18	Osin ma- suuni- hiekk
1021	1121	1,87	1,81	1,21	1,20	Masuuni- hiekk
1121	1221	2,31	2,23	1,44	1,51	Pääosin masuuni- hiekk
1221	1321	2,13	1,94	1,11	1,02	
1321	1421	1,93	1,92	1,18	1,28	
1421	1521	1,85	2,28	1,22	1,23	
1521	1621	2,73		1,58		

Taulukko 12. IRI-tasaisuusmittausten tulokset Rantsilassa kesällä 2000.

Alkupil.	Loppupil.	IRI/kesä-00 suunta11	IRI/kesä-00 suunta 21	IRI4/kesä-00 suunta 11	IRI4/kesä-00 suunta 21	Huom.
621	721		2,95		2,09	
721	821	2,07	2,32	1,32	1,31	Turverak.
821	921	1,99	1,74	1,28	1,17	"
921	1021	1,99	1,73	1,25	1,10	Osin ma- suuni- hiekk
1021	1121	1,76	1,59	1,24	1,20	Masuuni- hiekk
1121	1221	2,31	2,39	1,47	1,47	Pääosin masuuni- hiekk
1221	1321	2,04	1,67	1,21	1,02	
1321	1421	1,92	1,44	1,25	1,09	
1421	1521	1,63	2,07	1,22	1,48	
1521	1621	2,25		1,41		

Kuvassa 31 on esitetty tasaisuusmittauksilla määritetyt 5 m IRI-arvot koe-osuuksilla keväällä maksimiroudan aikaan ja kesällä vuonna 2000.



Kuva 31. Tasaisuusmittauksilla määritetyt 5 m IRI-arvot keväällä maksimivälikäytävällä ja kesällä 2000.

Vuonna 2000 keväällä mitatut 5 m IRI-arvot vaihtelivat turveosuudella välillä 1,04...4,15 mm/m, keskiarvon ollessa 2,10 mm/m ja masuunihiekkaosuudella välillä 0,86...5,56 mm/m, keskiarvon ollessa 1,88 mm/m. Kesällä mitatut 5 m IRI-arvot vaihtelivat turveosuudella välillä 1,33...4,21 mm/m, keskiarvon ollessa 2,04 mm/m ja masuunihiekkaosuudella välillä 0,91...5,88 mm/m, keskiarvon ollessa 1,83 mm/m.

Vuonna 2001 tien tasaisuusmittaukset suoritettiin 23.4.2001 ja 21.8.2001. Taulukoissa 13 ja 14 on esitetty IRI - tasaisuusmittausten tulokset (paalutus työmaapaalutuksen mukainen). Paaluväli 721 - 921 sijoittuu turveosuudelle, paaluväli 921 - 1021 sijoittuu osin masuunihiekkarakenteelle, paaluväli 1021 - 1221 sijoittuu pääosin masuunihiekkarakenteelle. Paaluväli 1221 - 1621 sijoittuu koealueen ulkopuolelle.

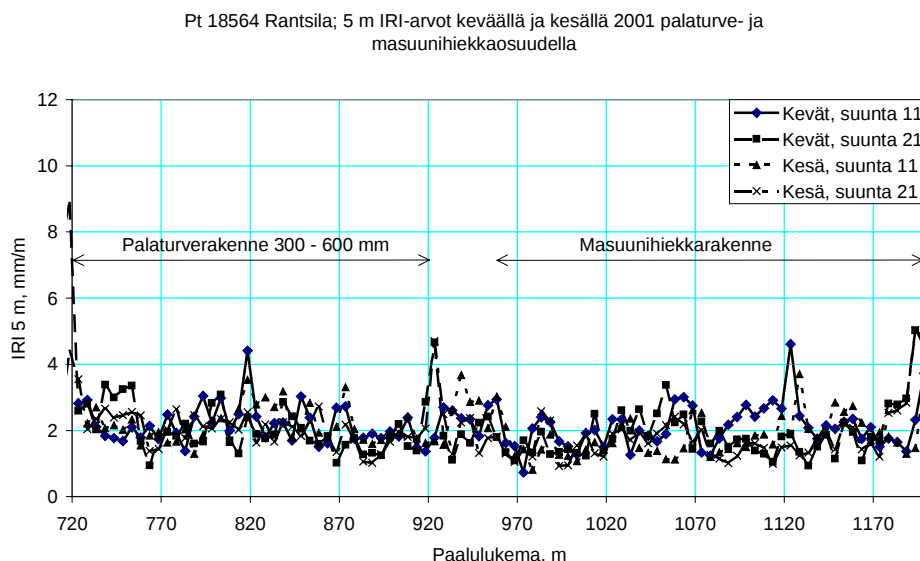
Taulukko 13. IRI-tasaisuusmittausten tulokset Rantsilassa keväällä 2001.

Alkupil.	Loppupil.	IRI/keväät-01 suunta11	IRI/keväät-01 suunta 21	IRI4/keväät- 01 suunta 11	IRI4/keväät- 01 suunta 21	Huom.
621	721		4,20		1,89	
721	821	2,31	2,27	1,43	1,26	Turverak.
821	921	2,04	1,78	1,20	1,28	"
921	1021	1,98	1,77	1,25	1,09	Osin masuuni- hiekka
1021	1121	2,22	1,96	1,59	1,33	Masuuni- hiekka
1121	1221	2,36	2,34	1,59	1,55	Pääosin masuuni- hiekka
1221	1321	2,13	1,76	1,17	1,13	
1321	1421	2,23	1,71	1,42	1,21	
1421	1521	1,88	2,62	1,23	1,49	
1521	1621	2,92		1,52		

Taulukko 12. IRI-tasaisuusmittausten tulokset Rantsilassa kesällä 2001.

Alkupil.	Loppupil.	IRI/kesä-01 suunta11	IRI/kesä-01 suunta 21	IRI4/kesä-01 suunta 11	IRI4/kesä-01 suunta 21	Huom.
621	721		2,99		1,82	
721	821	2,15	2,26	1,32	1,20	Turverak.
821	921	2,17	1,78	1,35	1,25	"
921	1021	1,87	1,80	1,08	1,16	Osin masuuni- hiekka
1021	1121	1,69	1,66	1,14	1,22	Masuuni- hiekka
1121	1221	2,31	2,26	1,45	1,41	Pääosin masuuni- hiekka
1221	1321	2,01	1,80	1,14	1,08	
1321	1421	1,87	1,53	1,24	1,16	
1421	1521	1,49	2,30	1,07	1,55	
1521	1621	2,21		1,24		

Kuvassa 32 on esitetty tasaisuusmittauksilla määritetyt 5 m IRI-arvot koeosuuksilla keväällä maksimiroudan aikaan ja kesällä vuonna 2001.



Kuva 32. Tasaisuusmittauksilla määritetyt 5 m IRI-arvot keväällä maksimivaurion aikaan ja kesällä 2001.

Vuonna 2001 keväällä mitatut 5 m IRI-arvot vaihtelivat turveosuudella välillä 0,95...4,41 mm/m, keskiarvon ollessa 2,10 mm/m ja masuunihiekkasuudella välillä 0,73...5,03 mm/m, keskiarvon ollessa 2,02 mm/m. Kesällä mitatut 5 m IRI-arvot vaihtelivat turveosuudella välillä 1,02...3,55 mm/m, keskiarvon ollessa 2,15 mm/m ja masuunihiekkasuudella välillä 0,81...5,03 mm/m, keskiarvon ollessa 1,80 mm/m.

5.12 Vauriot

Seurantatöiden 1995-96 ja 1996-97 jälkeen koerakenteissa ei havaittu päällystevaurioita.

Talven 1997-98 jälkeen havaittiin ensimmäiset pituushalkeamat masuunihiekkarakenteissa plv. 1057 – 1064 ja plv. 1061 – 1066 sekä yksi poikkihalkeama paalulla Pl. 1061,5.

Talven 1998-99 jälkeen päällystevauriot lisääntyivät selvästi sekä palaturveosuudella että masuunihiekkasuudella. Palaturveosuudella havaittiin pituushalkeamia 1,25 – 2,0 metrin etäisyydellä tien keskilinjasta molemmilla ajoradoilla. Halkeamien leveys vaihteli välillä 1...3 mm ja määrä oli 132 m/200 m. Lisäksi havaittiin verkkohalkeilun alkua vasemmassa ulkourassa Plv. 820 – 830. Masuunihiekkarakenteissa pituushalkeamia esiintyi 1,0 – 2,25 metrin etäisyydellä tien keskilinjasta molemmilla ajoradoilla. Halkeamien leveys vaihteli välillä 1...10 mm ja määrä oli 96,5 m/240 m. Poikkihalkeaman (Pl. 1061,5) leveys vaihteli välillä 8...20 mm.

Talven 1999-2000 jälkeen vaurioita oli tullut edelleen lisää. Palaturveosuudella pituushalkeamien leveys vaihteli välillä 1...10 mm ja määrä oli 141 m/200 m. Masuunihiekkarakenteissa pituushalkeamien määrä oli myös lisääntynyt selvästi. Pituushalkeamien leveys vaihteli välillä 1...10 mm ja määrä oli 133,5 m/240 m. Paalulle Pl. 1031 oli tullut yksi poikkihalkeama, jonka leveys vaihteli välillä 1...3 mm.

Talven 2000-2001 jälkeen pituushalkeamia oli palaturveosuudella tullut myös tien keskilinjalle Plv. 736 – 739 ja Plv. 776 – 778. Pituushalkeamien leveys vaihteli välillä 1...10 mm ja määrä oli 139 m/200 m. Verkkohalkeilun alkua oli tullut myös Plv. 720 – 728 oikeaan ulkouraan. Masuunihiekkarakenteessa pituushalkeamien leveys vaihteli välillä 1...10 mm ja määrä oli 158 m/240 m. Poikkihalkeamien leveys vaihteli välillä 1...20 mm.

Kuvassa 33 on esitetty palaturveosuudella tien vasempaan ulkouraan muodostunutta verkkohalkeilun alkua Plv. 823 - 830.



Kuva 33. Palaturveosuudella tien vasempaan ulkouraan muodostunutta verkkohalkeilun alkua Plv. 823 - 830.

Kuvassa 34 on esitetty pituushalkeama palaturveosuudella Plv. 842 – 869 tien vasemmalla ajoradalla 1,5 metrin etäisyydellä tien keskilinjasta.



Kuva 34. Pituushalkeama palaturveosuudella Plv. 842 – 869 tien vasemalla ajoradalla 1,5 metrin etäisyydellä tien keskilinjasta.

Kuvassa 35 on esitetty päällystevaurioita masuunihiekkarakenteessa paalulta Pl. 1050 eteenpäin.



Kuva 35. Päällystevaurioita masuunihiekkarakenteessa paalulta Pl. 1050 eteenpäin.

6 YHTEENVETO

Koerakenteen rakenneosat olivat pinnasta lukien Ös 40 mm, murskesoraa 550 mm, suodatinkangas, palaturve 300 - 600 mm ja vanha tierakenne. Vanhan tierakenteen päällysrakennepaksuus oli noin 0,7 - 0,9 m. Koeosuus oli osa parannettavaa paikallistietä.

Koeosuuden vertailurakenteena toimi masuunihiekkarakenne tieosuudella plv. 960 - 1200. Masuunihiekkarakenteen kokonaispaksuus oli 1,19 m, josta masuunihiekkaa oli 350 mm.

Pakkasmäärä

Seurantamittausten aikaisten talvien pakkasmäärät olivat seuraavat: $F_{95-96} = 30538 \text{ h}^\circ\text{C}$, $F_{96-97} = 24520 \text{ h}^\circ\text{C}$, $F_{97-98} = 27067 \text{ h}^\circ\text{C}$, $F_{98-99} = 27266 \text{ h}^\circ\text{C}$, $F_{99-00} = 20978 \text{ h}^\circ\text{C}$ ja $F_{00-01} = 21096 \text{ h}^\circ\text{C}$. Talvi 1995-96 vastasi pakkasmäärältään hieman keskimääräistä kylmempää talvea, talvi 1996-97 hieman keskimääräistä leudompaa talvea, talvet 1997-98 ja 1998-99 noin keskimääräistä talvea ja talvet 1999-2000 ja 2000-2001 keskimäärin noin kerran 5 vuodessa toistuvaa leutoa talvea.

Palaturpeen kosteustila

Turverakenteen paksummassa päässä (turvekerroksen paksuus noin 53 cm) turvekerroksen kosteustilassa tapahtui kahden ensimmäisen vuoden aikana vain pieniä muutoksia. Tilavuusvesipitoisuus vaihteli tällöin välillä 13,8 ... 16,8 %. Kesästä 1997 alkaen sulan tilan tilavuusvesipitoisuudessa oli tapahtunut kasvua. Syksyllä 1997 tilavuusvesipitoisuus oli 25,4 % ja kesällä 1998 30,5 %. Edelleen tilavuusvesipitoisuus kasvoi syksyllä 1998 arvoon 34,0 % ja alkukesällä 1999 mitattiin vesipitoisuudeksi 40,8 til.-%. Syksystä 1999 kesään 2000 sulan tilan tilavuusvesipitoisuudet vaihtelivat välillä 31,0...39,0 %. Tiavuusvesipitoisuus kasvoi edelleen syksystä 2000 kesään 2001, jolloin mitattiin suurin arvo 50,2 %.

Turverakenteen ohuemmassa päässä (turvekerroksen paksuus noin 30 cm) sulan tilan tilavuusvesipitoisuusarvot kasvoivat jo ensimmäisen vuoden jälkeen 16,8 %:sta 33,5 %:iin. Vesipitoisuuden kasvu jatkui edelleen kesällä 1997 (43,8 til.-%), kesällä 1998 (48,5 til.-%) ja kesällä 1999 (56,8 til.-%). Kesällä 2000 vesipitoisuus ei kasvanut edellisten vuosien tapaan, vaan tällöin mitattiin vesipitoisuudeksi 53,9 til.-%. Suurin tilavuusvesipitoisuus mitattiin kesällä 2001 56,9 %.

Palaturpeen lämmönjohtavuus

Palaturpeen lämmönjohtavuudessa tapahtui vain pieniä muutoksia ensimmäisen vuoden aikana. Turverakenteen paksummassa ja ohuemmassa päässä lämmönjohtavuudet vaihtelivat tällöin välillä 0,17...0,24 W/mK. Syksystä 1996 alkaen lämmönjohtavuuksissa tapahtui kasvua. Turverakenteen ohuemmassa päässä (palaturvekerroksen paksuus noin 30 cm) lämmönjohtavuus oli loppuvuodesta 1996 0,52 W/mK ja paksummassa (palaturvekerroksen paksuus noin 53 cm) päässä 0,34 W/mK. Kevästä 1997 kesään 2000 lämmönjohtavuudet vaihtelivat palaturverakenteen

ohuemmassa päässä välillä 0,22...0,51 W/mK ja paksummassa päässä välillä 0,22...0,61 W/mK.

Lämmönjohtavuuksissa tapahtui selvää kasvua syksystä 2000 kesään 2001, jolloin ohuemmassa palaturvekerroksessa mitattiin lämmönjohtavuudeksi 0,57 W/mK. Paksummassa palaturvekerroksessa mitattiin keväällä 2001 suurimmaksi jäätyneen tilan lämmönjohtavuudeksi arvo 0,87 W/mK.

Palaturverakenteen lämmönjohtavuudet olivat kasvaneet, mutta eivät saavuttaneet mitoituksen mukaisia arvioituja käyttötilan arvoja (lämmönjohtavuus sulana 0.6 W/Km ja jäätyneenä 1.2 W/Km).

Roudan syvyys

Turverakenteen paksummassa päässä (turvekerroksen paksuus noin 53 cm) suurimmat roudansyvytydet vaihtelivat seurantalvien aikana välillä 1,00...1,28 m (lämpötilamittauksilla määritetyt arvot). Rouda ei tunkeutunut talvien 1995-96, 1996-97 ja 1999-2000 aikana pohjamaahan. Talvella 1997-98 rouda tunkeutui lämpötilamittausten perusteella pohjamaahan 0,05 m ja talvella 1998-99 0,11 m. Talvella 2000-2001 ei suoritettu roudansyvyysmittauksia.

Turverakenteen ohuemmassa päässä (turvekerroksen paksuus noin 30 cm) suurimmat roudansyvytydet vaihtelivat välillä 1,12...1,39 m (routaputkella määritetyt arvot). Rouda tunkeutui pohjamaahan talvella 1995-96 0,19 m, talvella 1996-97 0,22 m, talvella 1997-98 0,27 m, talvella 1998-99 0,34 m, talvella 1999-2000 0,18 m ja talvella 2000-2001 0,24 m.

Vertailurakenteena toimivassa masuunihiekkarakenteessa suurimmat roudansyvytydet vaihtelivat välillä 1,22...1,49 m ((lämpötilamittauksilla määritetyt arvot).

Taulukossa 13 on esitetty seurantalvien pakkasmäärät ja suurimmat roudansyvytydet turverakenteissa (paksuus noin 30 cm ja noin 53 cm) sekä masuunihiekkarakenteessa.

Taulukko 13. Seurantalvien pakkasmäärät ja suurimmat roudansyvytydet turverakenteissa (paksuus noin 30 cm ja noin 53 cm) sekä masuunihiekkarakenteessa.

Paalu	Suurimmat roudansyvytydet, m					
	Talvi 1995-96 F = 30538 h°C	Talvi 1996-97 F = 24520 h°C	Talvi 1997-98 F = 27067 h°C	Talvi 1998-99 F = 27266 h°C	Talvi 1999-00 F = 20978 h°C	Talvi 2000-01 F = 21096 h°C
730 (palaturve 30 cm)	1,12 (Lt) 1,13 (G)	1,24 (Lt) 1,16 (G)	1,28 (Lt) 1,21 (G)	1,39 (Lt) 1,28 (G)	1,20 (Lt) 1,12 (G)	1,18 (G)
880 (palaturve 53 cm)	1,13 (Lt) 1,15 (G)	1,14 (Lt) 1,24 (G)	1,22 (Lt) 1,31 (G)	1,28 (Lt)	1,00 (Lt)	
1010 (masuuni- hiekk 350 mm)	1,49 (Lt) 1,53 (G)	1,34 (Lt) 1,40 (G)	1,33 (Lt) 1,41 (G)	1,37 (Lt) 1,43 (G)	1,22 (Lt) 1,28 (G)	1,32 (G)

Lt Lämpötilaprofiilista määritetty routasyvyys
G Gandahlin putkesta määritetty routasyvyys

Taulukosta 13 voidaan havaita, että palaturverakenteessa suurin roudansyvyys oli neljän ensimmäisen talven aikana vuosittain kasvanut, vaikka pakkasmäärältään kylmin talvin oli ensimmäinen seurantalvi. Sen sijaan

masuunihiekkarakenteessa suurin roudan syvyys havaittiin ensimmäisenä, kylmimpänä talvena. Talvi 1999-2000 oli seurantalvistä selvästi leudoin ja vastaavaa roudan syvyyden kasvua palaturverakenteessa ei havaittu.

Routanousu

Rakentamisen jälkeisiä tien pinnan korkeuden muutoksia tarkasteltaessa 0-tasona käytettiin lokakuussa 1995 tehtyä vaaitusta. Koerakenteessa esiintyi tien pinnan painumista turve-eristyksen kohdalla. Painuma vaihteli tarkastelujakson aikana 0...19 mm välillä.

Seurantalvien aikana suurimmat routanousut palaturve-eristetyllä osuudella vaihtelivat välillä 70...80 mm palaturverakenteen ohuemmassa päässä. Routanousu pieneni palaturvekerroksen paksuuden kasvaessa. Palaturvekerroksen paksuuden ollessa yli 400 mm havaittu routanousu oli enintään 40 mm. Suurin routanousuero tien keskilinjan ja reunan välillä oli 50 mm turverakenteen ohuemmassa päässä.

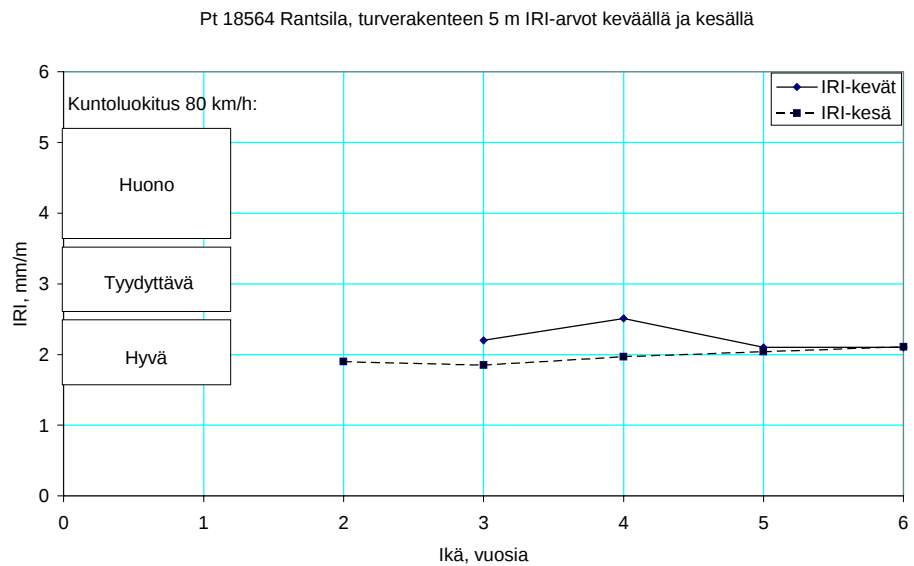
Vertailurakenteena toimivassa masuunihiekkarakenteessa suurimmat routanousut eri seurantalvina vaihtelivat välillä 60... 117 mm. Suurimmat routanousut mitattiin kylmimpänä talvena 1995-96.

Kantavuus

Rakentamisen jälkeen päällysteen pinnalta pudotuspainolaitteella suoritettujen mittausten perusteella paaluvälillä 0-650 kantavuusarvot vaihtelivat 125...339 MPa:n välillä keskiarvon ollessa 254 MPa. Turveosuudella kantavuusarvot vaihtelivat 70...101 MPa välillä. Alimmillaan kantavuudet olivat turverakenteen keskikohdalla Plv 810...850. Masuunihiekkarakenteessa kantavuudet vaihtelivat 249...295 MPa:n välillä ollen siten huomattavasti suurempia kuin turverakenteen kohdalla määritetyt arvot. Syksyllä 1999 mitatut kantavuudet palaturveosuudella vaihtelivat välillä 83...177 MPa, keskiarvon ollessa 118 MPa. Masuunihiekkarakenteessa kantavuudet E2 vaihtelivat välillä 295...685 MPa, keskiarvon ollessa 428 MPa.

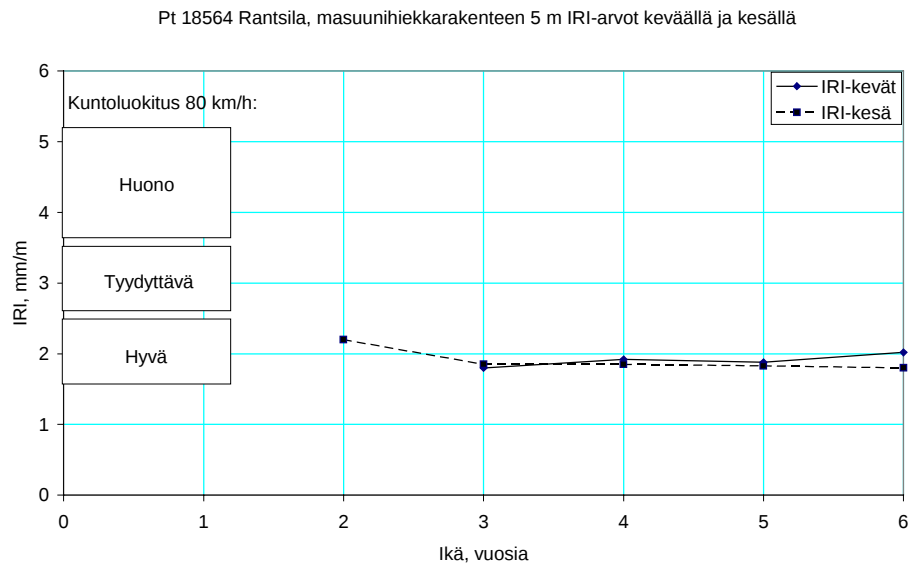
Tasaisuus

Kuvassa 36 on esitetty seurantamittausten aikaiset 5 m IRI-arvot palaturverakenteessa.



Kuva 36. Seurantamittausten aikaiset 5 m IRI-arvot palaturverakenteessa.

Kuvassa 37 on esitetty seurantamittausten aikaiset 5 m IRI-arvot masuunihiekkarakenteessa.



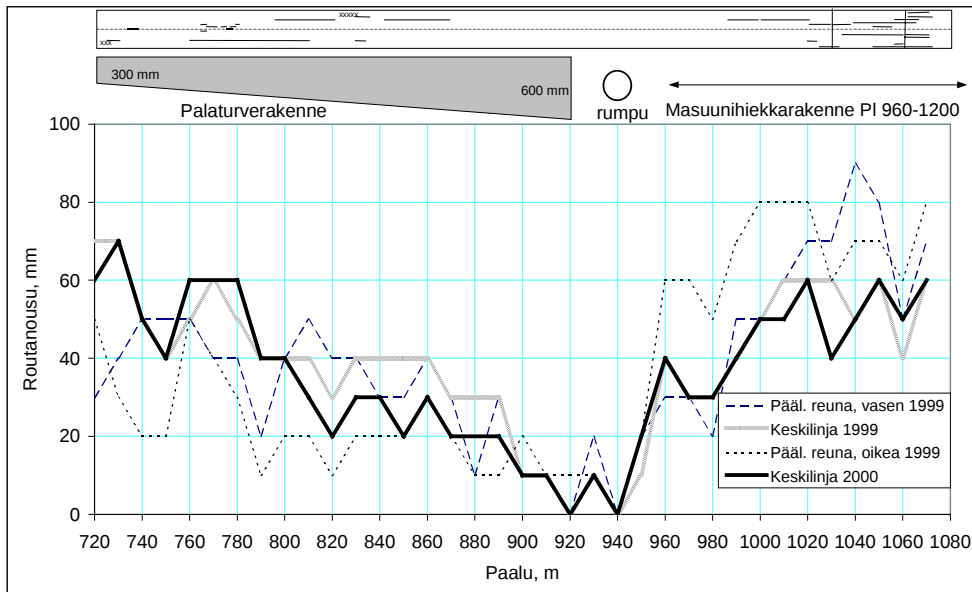
Kuva 37. Seurantamittausten aikaiset 5 m IRI-arvot masuunihiekkarakenteessa.

5 m IRI-arvojen perusteella tien kunto on turve- ja masuunihiekkasuudella luokiteltavissa sekä keväällä että kesällä keskimäärin hyväksi.

Vauriot

Talvien 1995-96 ja 1996-97 jälkeen ei koeosuuksilla havaittu päällystevaurioita. Talven 1997-98 jälkeen turveosuudella ei edelleenkään havaittu päällystevaurioita. Masuunihiekkarakenteessa havaittiin keväällä 1998 kaksi pituushalkemaa ajokaistoilla plv. 1057 – 1064 ja plv. 1061 – 1066 sekä poikkiahalkema koko tien leveydeltä paalulla Pl. 1061. Talven 1998-99 jälkeen päällystevauriot lisääntyivät selvästi sekä turveosuudella että masuu-

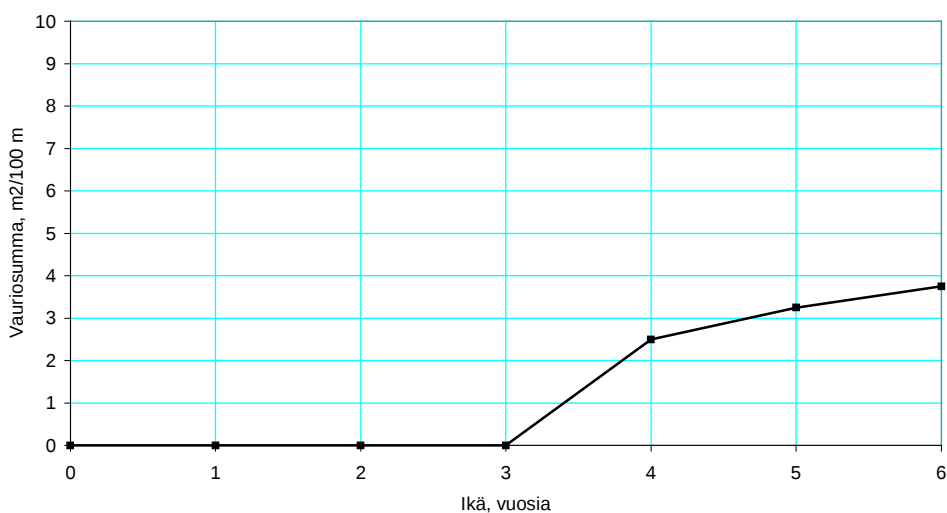
nihiekkaosuudella. Päälystehalkeamat olivat tyypiltään pääasiassa pituus-halkeamia keskilinjän molemmiin puolin. Talvien 1999-2000 ja 2000 –2001 jälkeen päälystevauriot olivat edelleen lisääntyneet. Päälystevaurioista pääosa on kuitenkin pituushalkeamia, joiden leveys on 1 – 5 mm. Keväällä 2001 palaturveosuuden vauriosumma oli $3,8 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ ja masuunihiekkaosuuden $2,2 \text{ m}^2/100 \text{ m}$. Kuvassa 38 on esitetty päälystevaurioiden sijainti, keskilinjän ja reunojen routanousut talvelta 1998-99 sekä keskilinjän routanousut talvelta 1999-2000.



Kuva 38. Päälystevaurioiden sijainti, keskilinjän ja reunojen routanousut talvelta 1998-99 sekä keskilinjän routanousut talvelta 1999-2000.

Kuvassa 39 on esitetty palaturverakenteen vauriosumman kehitys ajan suhteen.

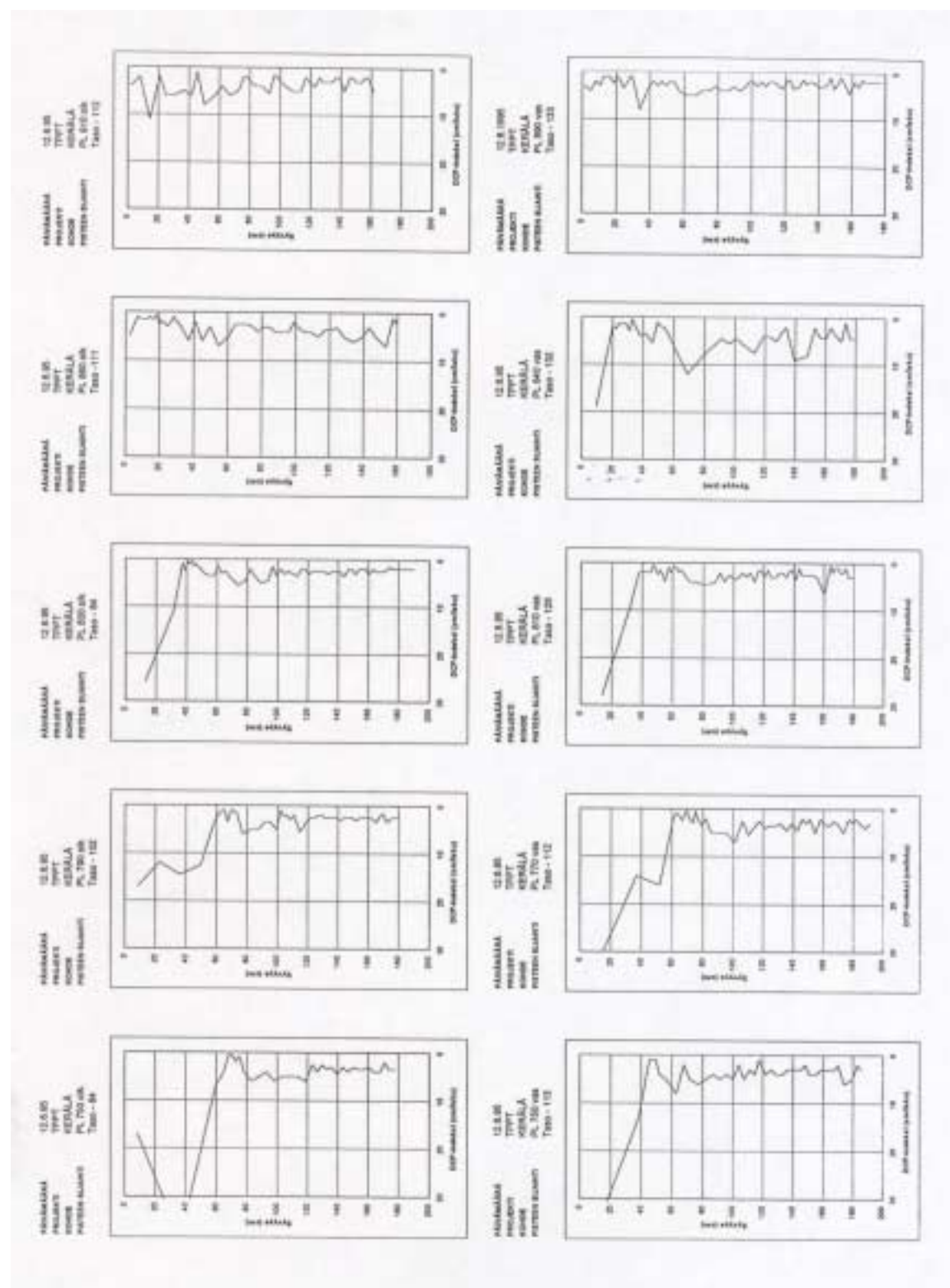
Pt 18564 Rantsila; Vauriosumman kehitys ajan suhteen

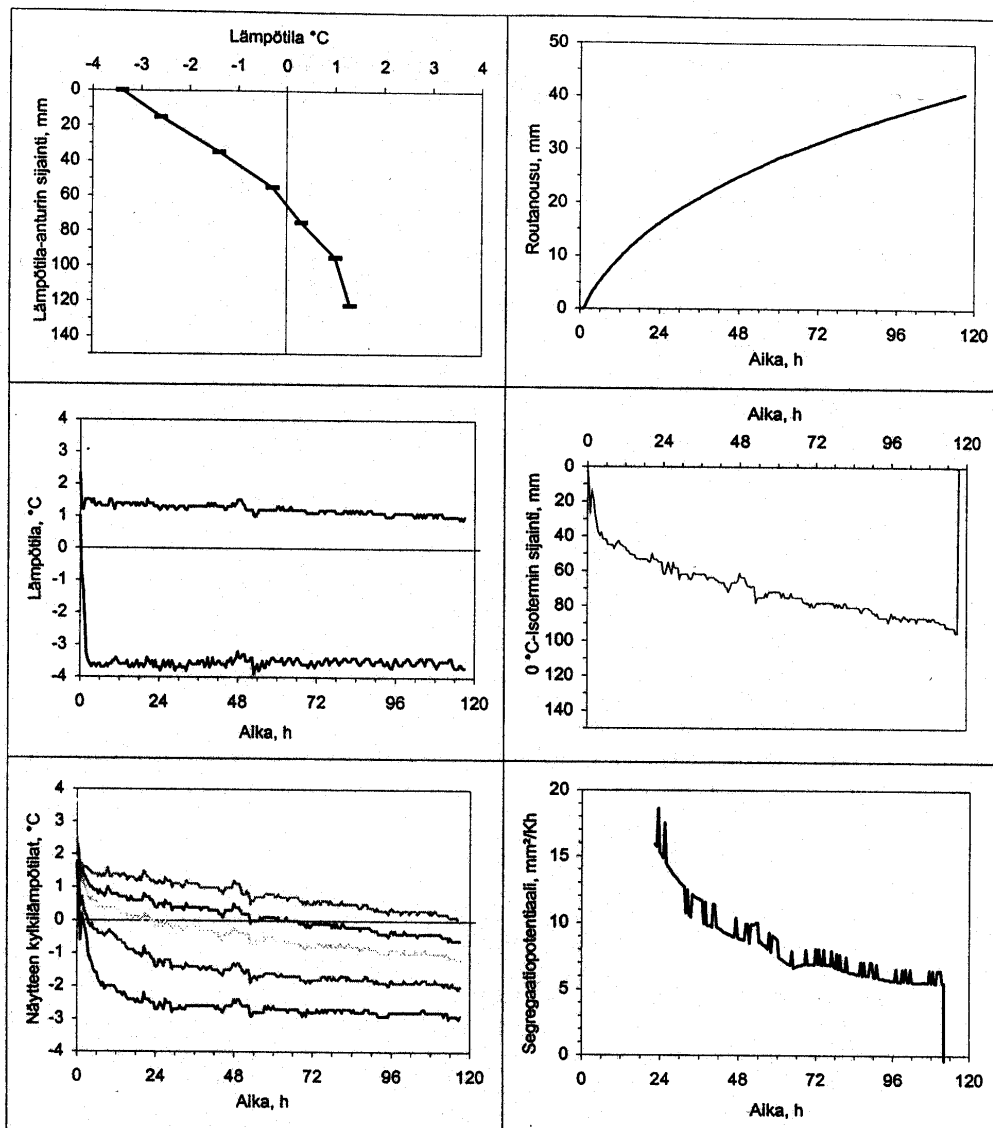


Kuva 39. Palaturverakenteen vauriosumman kehitys ajan suhteen.

7 KIRJALLISUUS

- /1/ RT 81-10590, Routasuojusrakenteet. 1995.
- /2/ Koerakennekohteiden materiaalien routakestävyys. Pohjoiset kohteet. Tielaitoksen selvityksiä 37/1996
- /3/ Friberg, P., Slunga, E. Maalajien routivuuskriteerien kehittäminen. TKK, Rakennetekniikan laitos, pohjarakennus ja maamekaniikka. Otaniemi 1989. 130 s.
- /4/ Talonrakennuksen routasuojausohje. VTT geotekniikan laboratorio. Rakentajain kustannus Oy. Helsinki 1994. 94 s.
- /5/ Levy, M. 1991. GEL1D, Modelisation mono-dimensionnelle de la congélation des structures de chaussées multi-couches. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées Service de Mathématiques, Paris. 41 s.
- /6/ Berggren, W. P. 1943. Prediction of Temperature Distribution in Frozen Soils. Transactions American Geophysical Union. Part III., p. 71 77.
- /7/ Gymon L., Berg R., Hromadga T.V. 1993. Mathematical Model of Frost Heave and Thaw Settlement in Pavements. U.S. Department of Transportation and Office of The Chief of Engineers. 126 s.



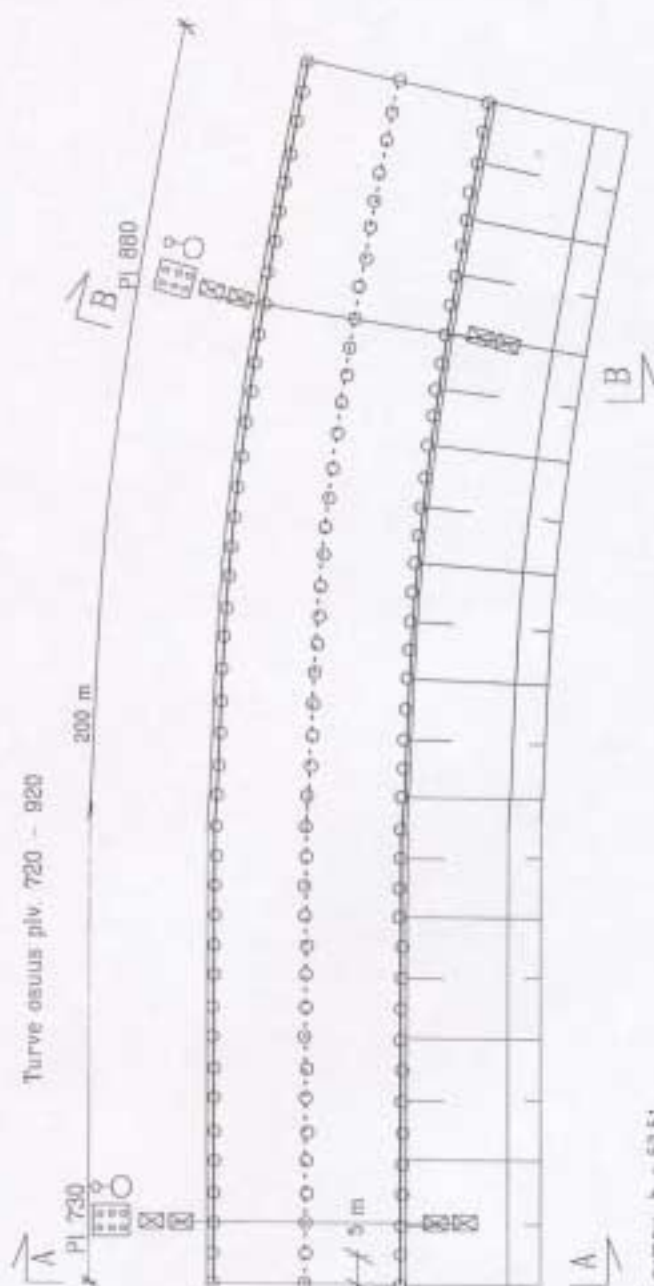


Tilaaja
Kohde
Maalaji
Kuormitus, σ
Routanousu ja aika, h / t
Routanousu, h_{24h}
Routanousunopeus, v_{24h}
Routanoususuhte, h_{24h}/H
Segregaatiopotentiaali, SP

TPPT
Rantsila, Pt 18564, paalu 750 oik.
saSi
1.7 kPa
36.7 mm / 96 h
16.5 mm
0.69 mm/h
0.28
13 mm²/Kh

RANTSILA : Pt 18564

Rantsila - Kerälä



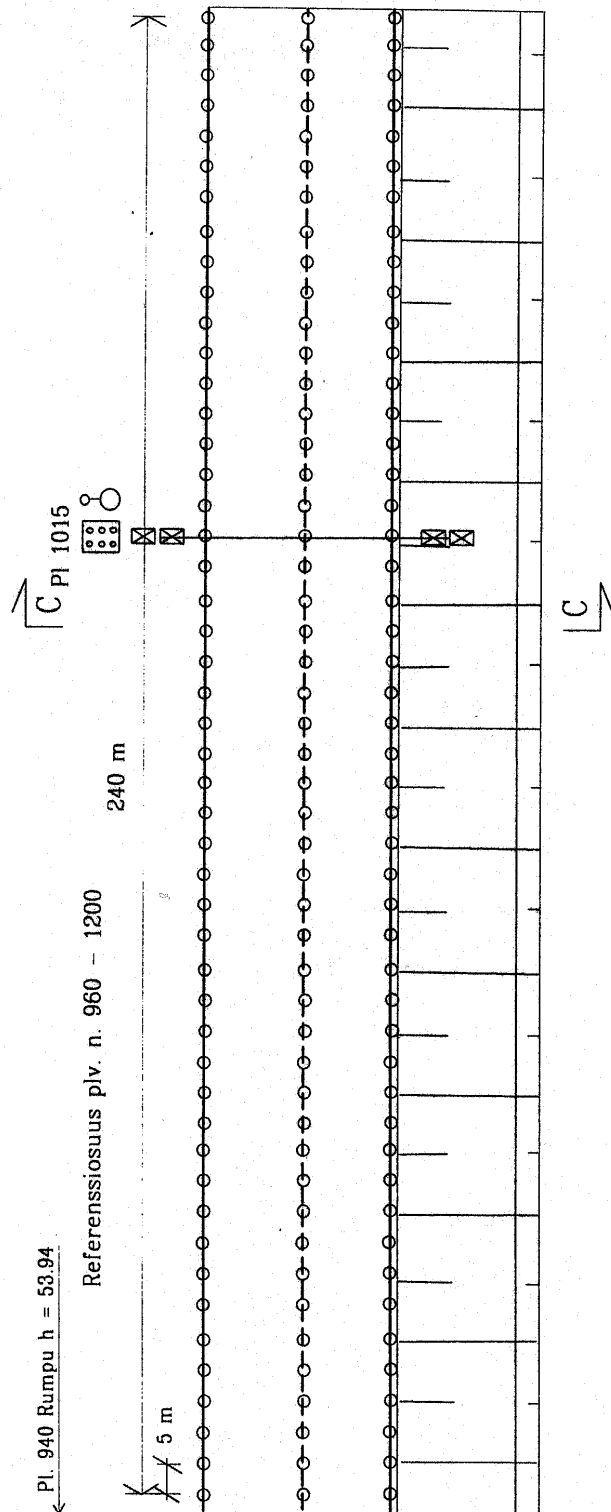
Selitykset

- Monikulmiopiste
- Vaailuspiste
- Lumen mittalaudat
- Pohjavesiputki
- Lähtölaulu

← Pt. 695 rumpu h = 53.51

RANTSILA : Pt 18564

Rantsila – Kerälä

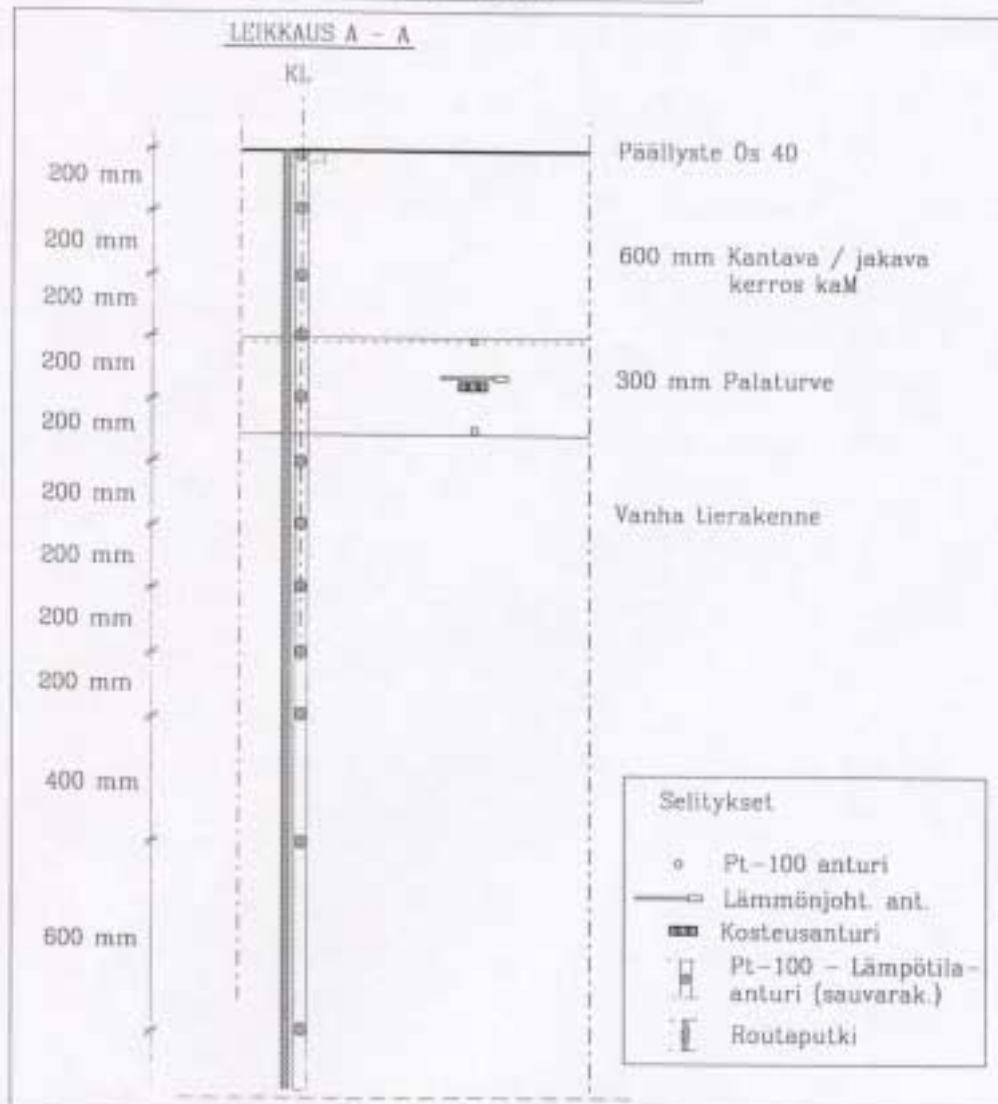


Selitykset			
○	Monikulmiopiste	○	Pohjavesiputki
○	Vaaituspiste	⊠	Liitintaulu
⊠	Lumen mittalaudat		

RANTSILA : Pt 18564

Kerälä - Rantsila

P1 730



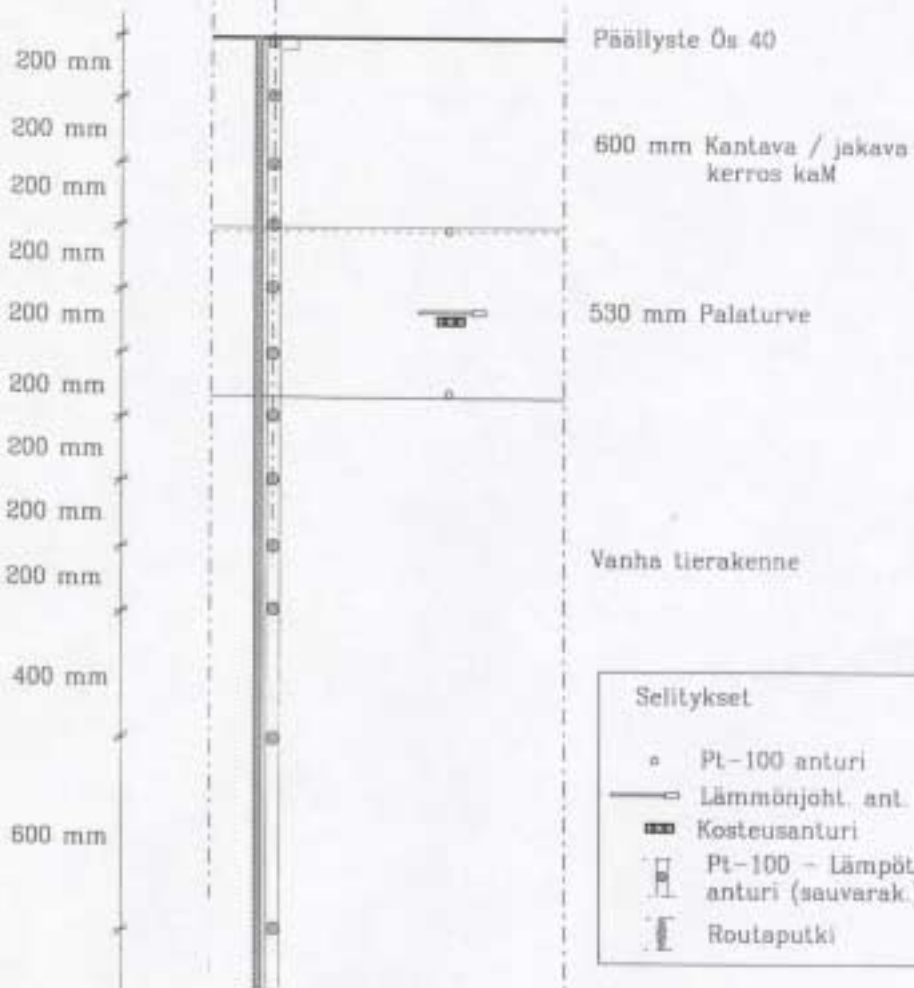
RANTSILA : Pt 18564

Kerälä - Rantsila

P1 880

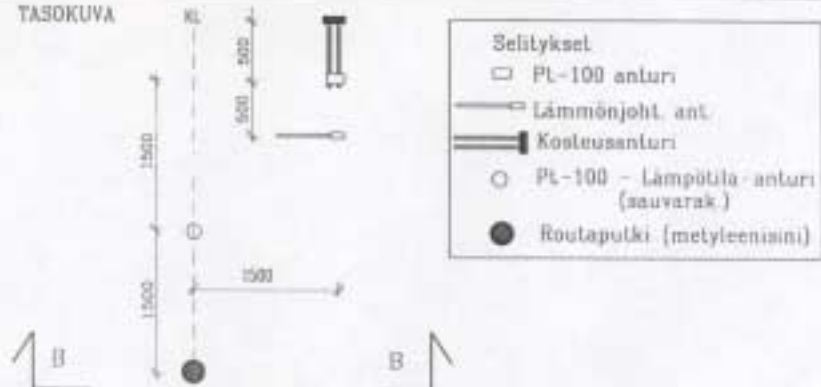
LEIKKAUS B - B

KL



TASOKUVA

KL



RANTSILA : Pt 18564

Kerälä - Rantsila

PI 1015

