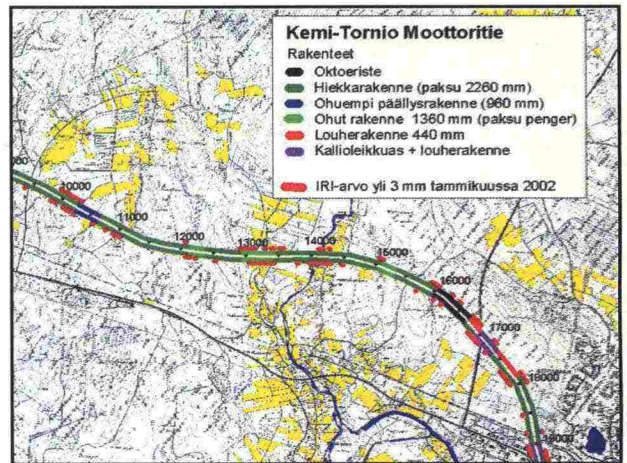




Timo Saarenketo ja Jani Riihiniemi

Selvitys Kemi-Tornio moottoritien epätasaisuuden syistä

Tiehallinnon selvityksiä 44/2002





TIEHALLINTO

Kirjasto

Timo Saarenketo
Jani Riihiniemi

Selvitys Kemi-Tornio moottoritien epätasaisuuden syistä

Tiehallinnon selvityksiä 44/2002



TIEHALLINTO

Kirjasto

TIEHALLINTO
Lapin tiepiiri
Rovaniemi 2002

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-928-5
TIEH 3200775



Julkaisua myy:
Tiehallinto, julkaisumyynti
Fax 0204 22 2652
e-mail julkaisumyynti@tiehallinto.fi

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornio moottoritien avaamisen jälkeen joulukuussa 2001 tiessä alkoi ilmetä pientä epätasaisuutta ja etenkin Keminmaan päässä epätasaisuus oli autoilijalle havaittavaa. Siksi tammikuussa 2002 Road Master –laitteistolla mitattiin IRI-arvot oikeilta ajokaistoilta molempiin suuntiin. Koska mitatut IRI arvot todettiin huolestuttavan suuriksi ja samaan aikaan havaittiin päällysteessä pituussuuntaisia halkeamia päätettiin Lapin tiepiirin toimesta tutkia vaurioiden syyt ja laajuus.

Laaditun tutkimusohjelman mukaisesti moottoritiellä suoritettiin eri aikoina tasaisuus- ja uramittauksia sekä maatutka- ja kantavuusmittauksia pudotuspainolaitteella. Lisäksi tieltä otettiin myös näytteitä, joille tehtiin erilaisia laboratorioanalyyssejä. Myös tiessä tavatut vauriot kartoitettiin ja muutamassa kohteessa suoritettiin routavaaitus.

Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat selkeästi siihen, että Kemi – Tornion moottoritien alkutalven 2001-2002 epätasaisuuden aiheuttavat ongelmat liittyvät liialliseen tiesuolan käyttöön. Liiallinen ja epätasaisesti jakautunut suola aiheutti jäätymisvaiheessa jäälinsien muodostumista sidottuun kerrokseen, joka puolestaan tuntui päällysteen pinnassa epätasaisuutena ja toisaalta tämä segregatiojää aiheutti bitumilla sidotun kerroksen murenemisen ja paikoin myös pituushalkeamia. Muita epätasaisuutta aiheuttavia syitä olivat penkereiden jälkipainumat ja muutama pieni ja paikallinen pohjamaan tai sitomattomien rakenteiden routimisesta johtunut routaheitto.

Tässä raportissa on kuvattu tutkimustulokset, selvitetty ja kuvattu mekanismi, joka aiheutti tiellä kohonneet epätasaisuudet ja sidottujen kerrosten vaurioitumisen sekä lisäksi on ennustettu vaurioiden jatkumista sekä annettu ehdotus korjaustoimenpidevaihtoehdoiksi.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on tehty Lapin tiepiirin toimeksiannosta. Tutkimuksen tilaajina ovat olleet tiejohtaja Tapani Pöyry ja ins. Kalevi Luuro. Tutkimusryhmässä ovat toimineet edellä mainittujen Lapin tiepiirin edustajien lisäksi di Kari Hietala Ins.tsto Pohjan Suunnittelusta ja Timo Saarenketo Roadscanners Oy:stä, joka on kirjoittanut tämän raportin.

Kemi-Tornio moottoritieprojektiorganisaatio Tieliikelaitoksesta on vastannut tutkimuksen koordinoinnista ja tutkimustyössä projektin tekijöitä ovat auttaneet erityisesti Risto Roininen, Antero Ylinäjä sekä Taisto Viita. Päälysteasioissa Reijo Jääskö on toimittanut arvokasta tietoa rakenteista ja materiaaleista. Projektin seuranta- ja asiantuntijaryhmään ovat osallistuneet myös Tuomo Kallionpää Tiehallinnosta, Leo Brandt Tieliikelaitoksesta sekä Seppo Kempainen Skanska Asfaltti Oy:stä. Ryhmän sihteeri oli Jani Riihiniemi, joka vastasi myös aineiston keräyksestä ja alustavista analyyseistä.

Tutkimustulosten analysoinnin yhteydessä tekijä on saanut arvokasta vertailutietoa Ruotsissa tapahtuneesta vastaavasta vauriosta Benny Ehrssonilta Region Mittistä sekä Svante Johanssonilta Roadscanners Sweden AB:sta. Lisäksi tekijät haluavat kiittää neuvoista prof. Guy Doréta Laval Yliopistosta Kanadasta.

Roadscanners Oy:ssä tutkimuksen tietojen keruuseen, analysointiin ja raportin tekoon on osallistunut lähes koko yhtiön henkilökunta.

Vaikka tämä tutkimus on ollut vaivalloinen ja ymmärrettävästi myös kiusallinenkin haluaa raportin tekijä esittää erityiskiitokset kaikille osapuolille siitä avoimuudesta, jolla tutkimusta on tehty. Kaikkien vilpittömänä tavoitteena on ollut selvittää vauriot aiheuttaneet syyt ja prosessit niin ettei vastaavia ongelmia enää toistuisi. Vaurioiden suurin aiheuttaja, liukkauden torjuntaan käytetty liiallinen suolaus, on tehty hyvässä tarkoituksessa ja eikä suolan aiheuttamista mahdollisista haittatekijöistä ole ollut tietoa.

Tässä tutkimuksessa kuvattuja vastaavia vaurioita on todennäköisesti tapahtunut aiemmin myös muualla Suomessa kuin vain tällä kohteella, mutta niiden syitä ei ole välttämättä tuolloin osattu määrittää. Siksi vääriäkin johtopäätöksiä eräiden rakenteiden ja materiaalien toimivuudesta on voitu tehdä.

Edellisestä johtuen ja tietäen, että vastaavia ja erittäin kalliita vaurioita on tapahtunut viime vuosina ainakin myös Ruotsissa ja Kanadassa, tulisi suolan aiheuttamista vaurioista järjestää kansainvälinen tutkimusohjelma, jonka tavoitteena on tuottaa selkeät ohjeet sekä materiaaleille että kunnossapitokäytännöille.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 MOOTTORITIE RAKENTEET	8
3.1 PERCOSONDIEN MITTAUKSET	10
3.2 PITUUSSUUNTAINEN TASAISUUS (IRI)	12
3.3 URAMITTAUKSET	17
3.4 PÄÄLLYSTEVAURIOINVENTOINTI	20
3.5 MAATUTKAMITTAUKSET	22
3.6 NÄYTTEENOTTO JA LABORATORIOANALYYSIT	23
3.6.1 Yleistä	23
3.6.2 Poranäytteiden visuaalinen analyysi	24
3.6.3 Laboratoriotulokset	28
3.7 KANTAVUUSMITTAUKSET	33
3.8 ROUTAVAAITUKSET	37
3.9 MUUT TUTKIMUKSET	39
4 VAURIOIDEN SYYT	40
4.1 YLEISTÄ, VERTAILUA MUIHIN VAURIOKOHTEISIIN	40
4.2 SUOLAN AIHEUTTAMA VAURIOPROSESSI	42
4.3 MUUT VAURIOT	46
5 YHTEENVETO JA KORJAUSTOIMENPIDEVAIHTOEHDOT	48
6 KIRJALLISUUSVIITTEET	51
7 LIITTEET	52

1 JOHDANTO

Kemi-Tornio moottoritie avattiin liikenteelle syksyllä 2001. Tätä ennen tien päällysrakenteen yläosa oli stabiloitu bitumilla ja sen päälle oli levitetty ABK, jonka tarkoituksena oli toimia päällysteenä ensimmäisen talven ajan ja lopullinen AB-kulutuskerros oli tavoitteena päällystää kesällä 2002.

Kuitenkin jo joulukuussa 2001, ensimmäisten pakkasten jälkeen, tiessä alkoi ilmetä pientä epätasaisuutta (K. Hietala, suullinen tiedonanto) ja etenkin Keminmaan päässä epätasaisuus oli autoilijalle tuntuva. Tästä syystä tielle asennettujen Percosondien lukemisen yhteydessä Roadscanners Oy mittasi Road Master -laitteistolla IRI-arvot oikeilta ajokaistoilta molempiin suuntiin.

Mitatut IRI-arvot olivat niin suuria, että 28.1.2002 Lapin tiepiirissä pidetyssä palaverissa (Pöyry, Luiro ja Saarenketo) päätettiin tutkimuksesta, jonka tavoitteena oli seurata epätasaisuuden kehitystä ja selvittää myös ongelmien syyt.

Tutkimussuunnitelma laadittiin Timo Saarenkedon ja Kari Hietalan toimesta ja sen mukaisesti tiellä suoritettiin tasaisuus- ja uramittauksia sekä maatutka- ja kantavuusmittauksia. Tieltä otettiin kolmeen otteeseen myös näytteitä, joille suoritettiin erilaisia laboratorioanalyseja. Lisäksi tieltä tehtiin vaurioinventointi visuaalisesti ja videon perusteella.

Tämä raportti on laadittu edellä esitettyjen mittaus- ja tutkimustulosten pohjalta ja tuloksia on myös verrattu vastaaviin vauriokohteisiin, kuten esimerkiksi Ruotsissa talvella 1998-1999 esiintulleisiin ongelmiin tiellä "Väg E4 vid Höga Kusten". Raportissa esitetään myös teoriaa vaurioiden synnystä sekä esityksiä korjaustoimenpiteistä.

2 MOOTTORITIEN RAKENTEET

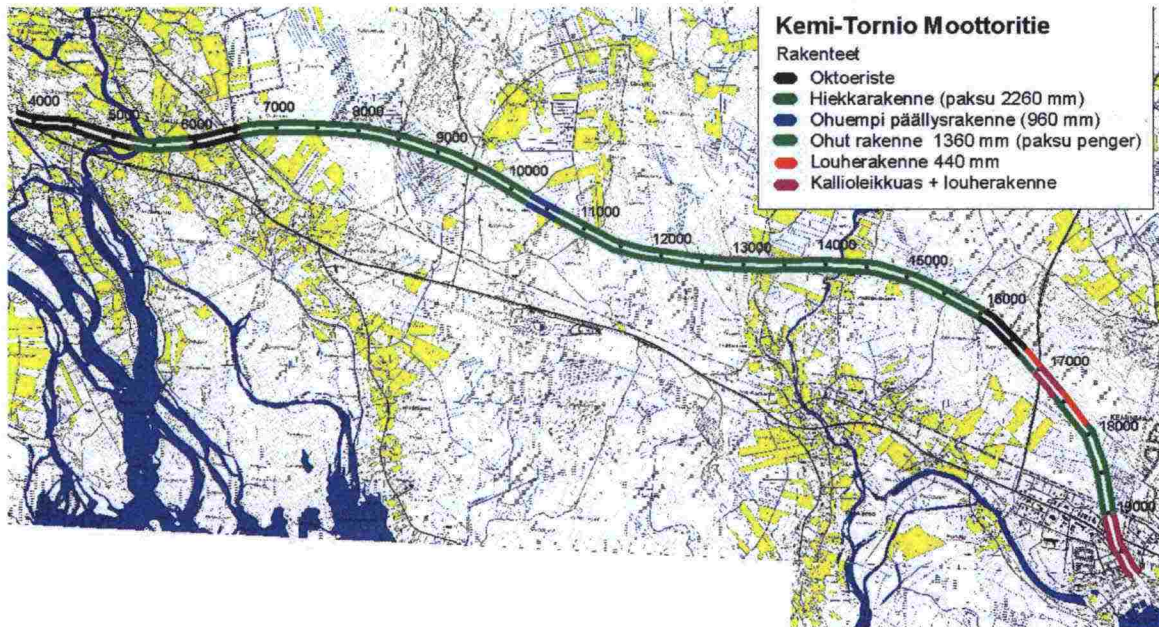
Karkeasti luokitellen Kemi-Tornio moottoriteillä käytettiin viittä eri rakennetta, jotka on esitetty taulukossa 1. Kuvassa 1 on esitetty eri rakenteiden alueellinen sijainti. Paalulta 3760 m alkaen kaikkien rakenteiden päälle oli suunniteltu ja rakennettu seuraava rakenne: sitomaton jakava kerros n. 250 mm, BST 130 mm ja ABK 120 kg / m².

Sitomaton jakava kerros tehtiin Kemin puoleisessa päässä Elijärven kalliomurskeesta, hankkeen keskiosissa Vähämykänmaan soramurskeesta sekä Tornion puoleisessa päässä Laivakankaan soramurskeesta.

Bitumistabilointi tehtiin asemasekoitteisena Ristimaan kalliomurskeesta. BST:n bitumipitoisuus oli 3,1 % ja lisäaineina käytettiin 0,7 % sementtiä ja 3,5 % masuunihiekkaa. BST:n bitumipitoisuus määritettiin TS-testillä, mutta se tehtiin ennenkuin päätettiin lisätä masuunihiekkaa. ABK tehtiin myös Ristimaan kalliomurskeesta, ABK kerroksen bitumipitoisuusvaatimus oli 4,5 % ja maksimityhjätila oli 8 %. ABK kerroksessa ei käytetty lisäaineita. ABK suhteutettiin tavallista tiiviimmäksi. Bitumistabilointia ei kuitenkaan käytetty ennen paalua 3760 m, vaan tien alkuosassa jakavan kerroksen päällä oli pelkkä ABK ja granuloidusta kuonasta tehty AB päällyste.

Taulukko 1. Kemi-Tornio moottoritien eri rakenteet

Suunta	Paalu	Rakenne
molemmat	3800-5240	oktoeriste
molemmat	5240-5960	hiekkarakenne (paksu 2260 mm)
molemmat	5960-6600	oktoeriste
molemmat	6600-10280	hiekkarakenne (paksu 2260 mm)
molemmat	10280-10660	ohuempi päällysrakenne (960 mm)
molemmat	10660-12160	hiekkarakenne (paksu 2260 mm)
molemmat	12160-12380	ohut rakenne 1360 mm (paksu pengeri)
molemmat	12380-12960	hiekkarakenne (paksu 2260 mm)
molemmat	12960-13460	ohut rakenne 1360 mm (paksu pengeri)
molemmat	13460-15100	hiekkarakenne (paksu 2260 mm)
molemmat	15100-15340	ohut rakenne 1360 mm (paksu pengeri)
molemmat	15340-16040	hiekkarakenne (paksu 2260 mm)
molemmat	16040-16660	oktoeriste
Kemi - Tornio	16660-17000	louherakenne 440 mm
Tornio - Kemi	16660-17000	hiekkarakenne (paksu 2260 mm)
molemmat	17000-17360	kallioleikkaus + louherakenne
Kemi - Tornio	17360-17900	louherakenne 440 mm
Tornio - Kemi	17360-17900	hiekkarakenne (paksu 2260 mm)
molemmat	17900-19040	hiekkarakenne (paksu 2260 mm)
molemmat	19040-19800	kallioleikkaus + louherakenne



Kuva 1. Eri rakenteiden alueellinen jakautuminen Kemi –Tornio moottoritieprojektissa.



Kuva 2. Keminmaan kallioleikkaus noin paalulla 19600 rakentamisvaiheessa syksyllä 2000. Kuvassa näkyvää kuonahiekkaa käytettiin putkitusten ympäristötäyttöihin.

3 TEHDYT TUTKIMUKSET JA TUTKIMUSTULOKSET

3.1 Percosondien mittaukset

Koska suunnitteluvaiheen ennakkotutkimusten perusteella oli arvioitu, että jakavan kerroksen murskeiden imupaineominaisuuksissa saattaisi esiintyä ongelmia, asennettiin jakavan murskeiden kosteustilan seuraamiseksi Percosondit viiteen kohteeseen. Antureiden sijainti ja jakavan kerroksen materiaalit, johon ne on asennettu on esitetty kuvassa 3. Materiaalien dielektrisyyttä, sähkönjohtokykyä ja lämpötilaa seurattiin erillisen tutkimussuunnitelman mukaisesti jo syksystä 2001 alkaen ja nämä mittaustulokset on esitetty taulukossa 2. Dielektrisyysarvojen muutokset on esitetty myös graafisesti kuvassa 4.



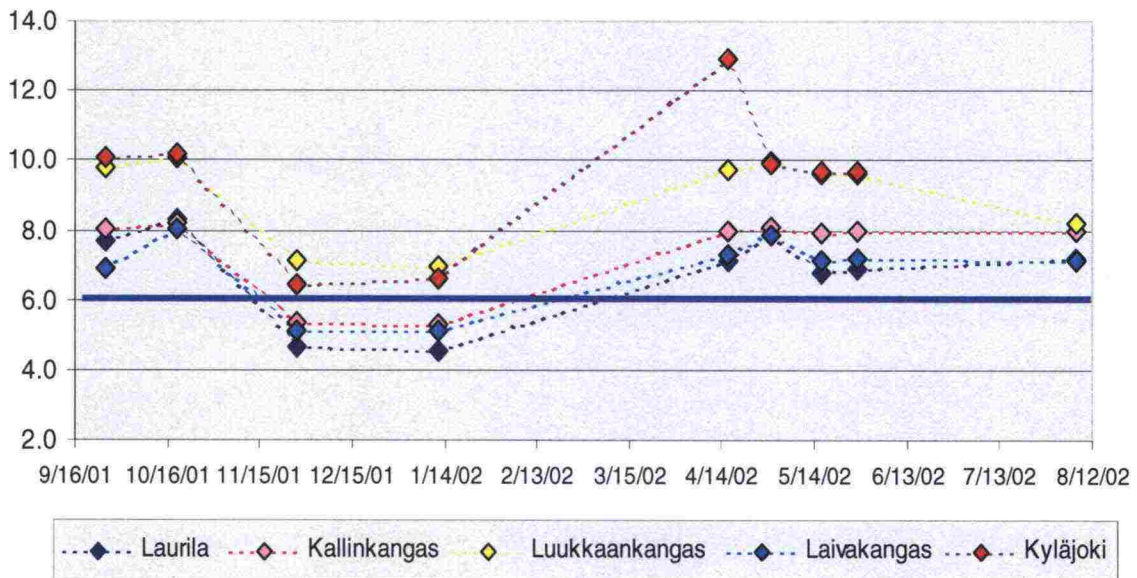
Kuva 3. Percosondien sijainti Kemi – Tornio moottoritillä. Jakavan kerroksen materiaalit kohteilla ovat seuraavat: 2920/Elijärvi, 2921/Vähämykänmaa, 2922, 2923, 2924/Laivakangas.

Sondien mittaustulokset osoittivat, että Elijärven ja Vähämykänmaan murskeiden dielektrisyys on ollut alhainen eikä antureiden kohdalla havaittu kohonneita vesipitoisuuksia. Sen sijaan Laivakankaan soramurskeeseen asennetut anturit 2922 ja 2924 Luukkaankankaan ja Raumojoen kohdalla osoittivat kohonneita vesipitoisuuksia sekä syksyllä 2001 että keväällä 2002. Materiaalin käyttäytymisen kannalta huolestuttavaa oli etenkin se, että talvella tehdyissä mittauksissa antureiden dielektrisyysarvot olivat -2°C lämpötilassa vielä 6,5 – 7,0, mikä osoittaa että materiaali sisälsi vielä jäätyvätöntä vettä. Tämä merkitsee sitä, että materiaalissa esiintyi kryoimupainetta ja jos se saa tuolloin vettä materiaali muodostaa jäälinssettä. Valitettavasti antureiden mittaus keväällä roudan sulamisaikaan estyi, koska moottoritien lumipalteleiden kaadon yhteydessä kaatuivat myös antureiden sijaintia osoittaneet merkkikepit, eikä niitä löydetty ennenkuin lumi oli riittävästi sulanut tien luiskista.

Sähkönjohtokyky mittaukset osoittivat, että sähkönjohtokyvyn taso oli noussut kesän 2001 arvoista ainoastaan Laurilan ja Raumojoen antureiden kohdalla ja näilläkin erittäin vähän.

Taulukko 2. Percosondien mittaustulokset

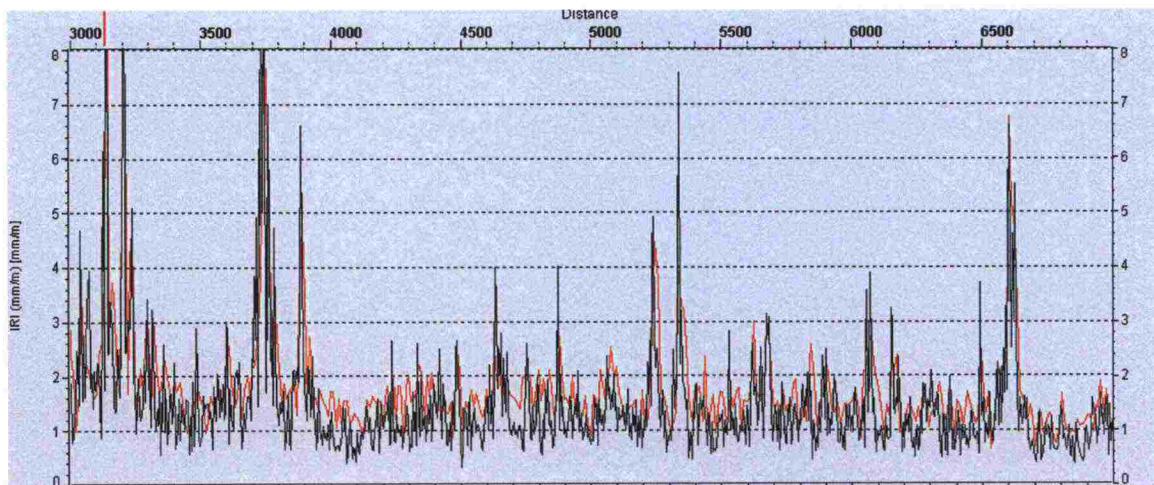
			9/26/01	10/19/01	11/27/01	1/12/02	4/16/02	4/30/02	5/16/02	5/28/02	8/7/02
2920 Laurila	T °C	Laurila	9.8	5.0	-1.3	-2.1	2.2	7.1	13.1	16.3	19.6
	Er	Laurila	7.7	8.3	4.7	4.6	7.1	7.9	6.8	6.9	7.2
	J μS/cm	Laurila	11	9	0	2	23	28	16	15	9
2921 Kallinkangas	T °C	Kallinkangas	9.8	5.0	-1.8	-1.7	2.8	8.3	15.2	18	19.5
	Er	Kallinkangas	8.1	8.2	5.3	5.3	8.0	8.1	7.9	8.0	8.0
	J μS/cm	Kallinkangas	18	15	1	1	13	15	16	17	17
2922 Luukkaankangas	T °C	Luukkaankangas	8.7	5.0	-1.3	-1.1	4	6.6	13.2	17.3	19.8
	Er	Luukkaankangas	9.8	10.1	7.1	7.0	9.7	9.9	9.6	9.6	8.2
	J μS/cm	Luukkaankangas	20	14	2	2	21	29	29	43	48
2923 Laivakangas	T °C	Laivakangas	9	4.7	-1.5	-1.6	4.4	8	15.2	19.2	21.1
	Er	Laivakangas	6.9	8.0	5.1	5.1	7.3	7.8	7.1	7.2	7.1
	J μS/cm	Laivakangas	8	8	1	1	9	14	9	11	13
2924 Raumojoki	T °C	Raumojoki	9.6	5.5	-1.2	-0.9	0.3	8.5	15.6	17.9	
	Er	Raumojoki	10.1	10.2	6.4	6.6	12.9	9.9	9.7	10	
	J μS/cm	Raumojoki	14	9	1	1	0	16	22	23	



Kuva 4. Percosondien dielektrisyksien muutos 2001 – 2002.

3.2 Pituussuuntainen tasaisuus (IRI)

Tienpinnan tasaisuusmittauksista suoritettiin pääosa Roadscanners Oy:n omistamalla Road Master –mittausautolla. Tällä tekniikalla 10 m:n IRI-arvo lasketaan oikeaan takapyörään kiinnitetyn kiihtyvyyssanturin avulla. Mittaukset suoritettiin 12.01.2002, 13.03.2002, 16.04.2002 ja 28.05.2002. Ensimmäisessä mittauksessa 12.01.2002 mitattiin ainoastaan oikeat kaistat, mutta kaikissa muissa kaikki neljä ajokaistaa. Mittaukset tehtiin Röyttän kiertoliittymän ja Isohaaran eritasoliittymän ylikulkusillan välillä paaluvälillä 2660 – 19893 m. Jotta Road Master tuloksia voitiin verrata muihin Tielaitoksen verkkotason tasaisuusmittaustuloksiin, suoritti Tielikelaitoksen konsultointi mittaukset PTM autolla vastaavilla jaksoilla 05.06.2002. Kuvassa 5 on verrattu Tielikelaitoksen PTM-auton ja Road Master –auton IRI-mittaustuloksia. Kuva osoittaa, että arvot ovat lähes samat, vaikka PTM-auto mittaa 5 metrin IRI-arvoa. Alimpien IRI-arvojen taso oli Road Master –kalustolla mitattuna kuitenkin hieman korkeampi.



Kuva 5. Road Master kalustolla 28.05.2002 mitatuttujen 10m-IRI arvojen (punainen viiva) suhde Tielikelaitoksen PTM kalustolla 10.06.2002 mitattuihin 5m-IRI arvoihin (musta viiva): Suunta Tornio-Kemi, oikea kaista, paaluväli 3000 – 7000 m.

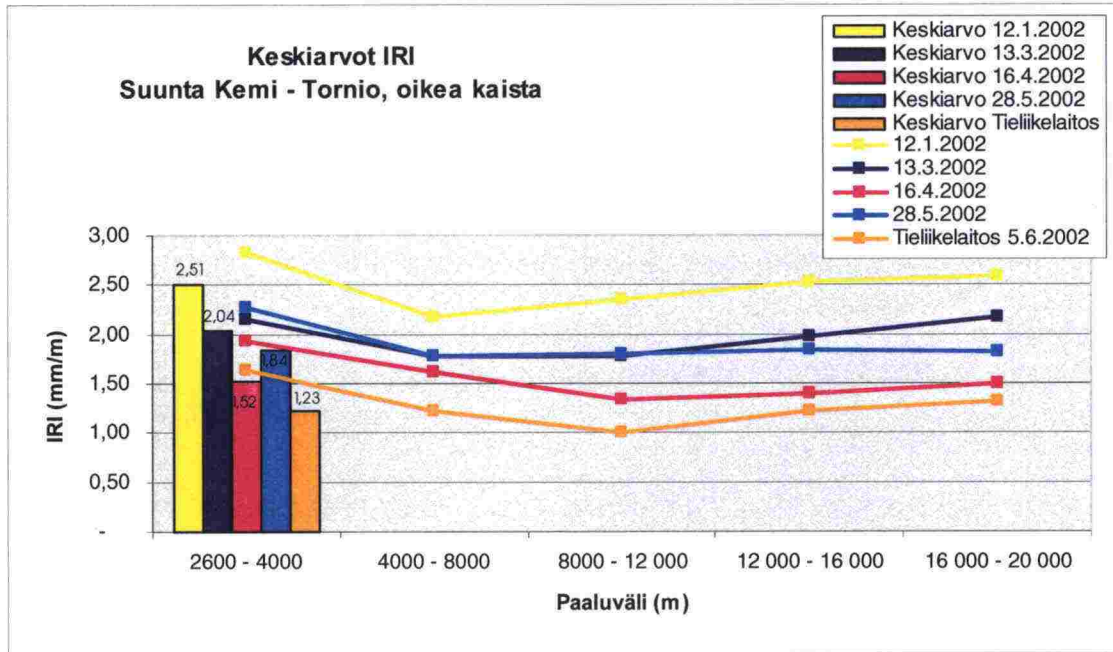
Yhteenveto tasaisuusmittaustuloksista on esitetty taulukossa 3, kuvissa 6-9 ja liitteessä 1. Kuvat osoittavat selkeästi, että tammikuussa tien epätasaisuus oli suurimmillaan ja IRI-arvot olivat vähentyneet selvästi jo maaliskuun puoleen väliin mennessä. Huhtikuun 16. päivänä tehdyt mittaustulokset antoivat jopa keskimäärin paremmat tasaisuusarvot kuin 28.5. mittaustulokset. Tämä selittyy osittain sillä, että toukokuussa keskimääräisiä IRI arvoja nostivat epätasaisesta routanoususta aiheutuneet lievät "routaheitot", jotka olivat tuolloin sulaneet ja joissa IRI arvot selvästi kasvoivat. Muut epätasaisuuskohteet, joissa IRI arvojen laskua ei tapahtunut liittyvät lähinnä siltapenkereisiin ja rakenteiden vaihtumiskohtiin

Taulukko 3. Kemi – Tornio moottoritien keskimääräiset IRI arvot eri kaistoilta, eri aikoina ja eri kalustoilla mitattuna

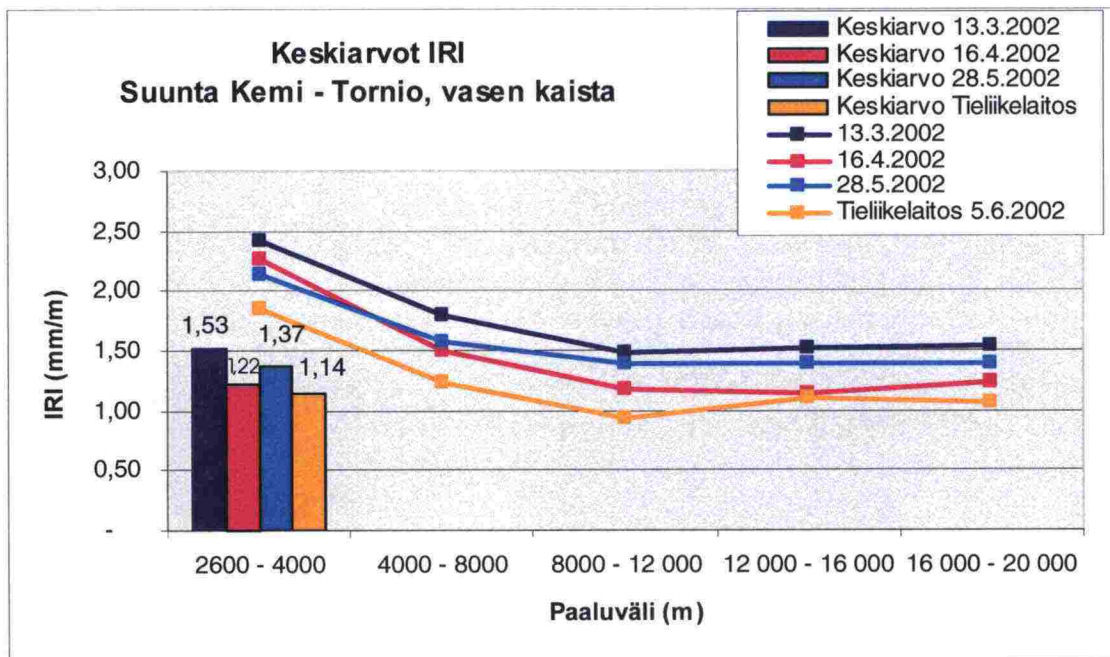
Suunta / kaista	12.01 RM	13.03. RM	16.04. RM	28.05. RM	05.06 PTM
Ke – To, oikea	2,50	2,04	1,52	1,84	1,23
Ke – To, vasen		1,53	1,22	1,37	1,14
To – Ke, oikea	2,23	1,72	1,35	1,56	1,30
To – Ke, vasen		1,64	1,20	1,29	1,25

Talvella mitatut IRI-arvot ylittivät selvästi moottoritien suurimmat sallitut tasaisuusarvot, jotka ovat 1,2 – 1,7 mm/m päällystetyypistä ja määrittävistä riippuen. Tuloksia vertailtaessa tulee myös muistaa, että nämä tasaisuusvaatimukset koskevat 100 m:n keskiarvoja kun kuvien 6 – 9 tarkastelussa on käytetty 4 km:n keskiarvoja, jotka ovat huomattavasti pienempiä.

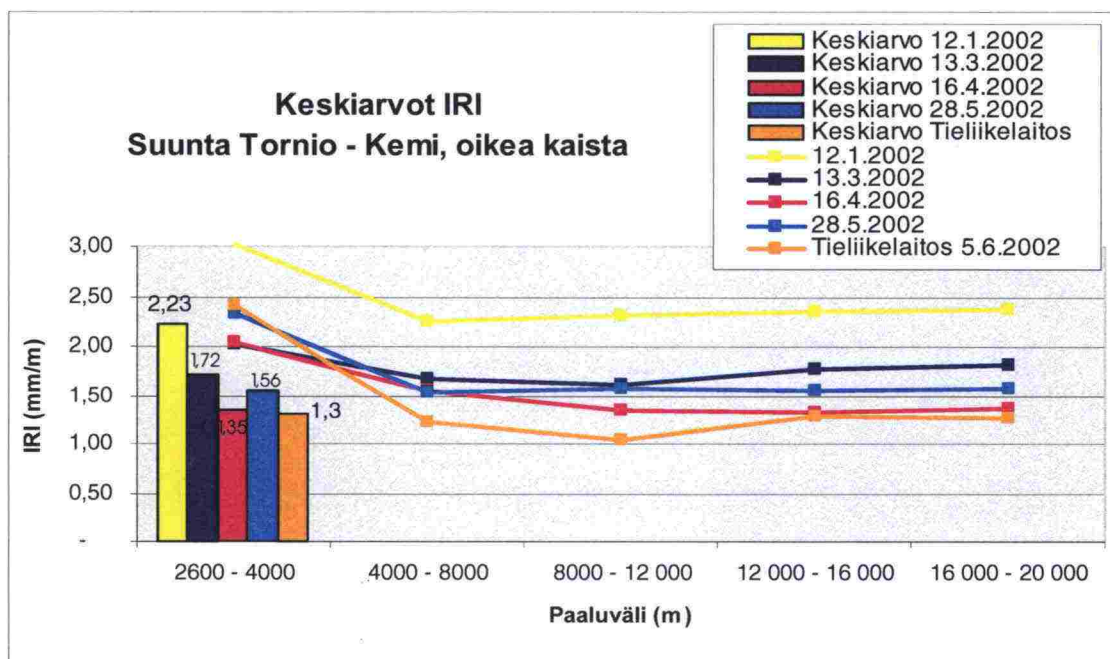
Kuvissa 10 ja 11 on vertailtu epätasaisien kohtien alueellista jakautumista tammikuussa 2002 (IRI >3) ja toukokuussa (IRI >2). Alueellisesti suurimmat epätasaisuudet tavattiin kaikilla kaistoilla tien molemmissa päissä. Muita tavallista korkeampia epätasaisia kohteita esiintyi molemmilla suunnilla Tornion päässä Raumonjoen kohdalla sekä muualla paaluvälillä 9900 – 10 200 m, paaluvälillä 12 900 – 13 200 m, 14 000 – 14 200 m ja 16 600 – 17 000 m. Kemi – Tornio suunnan epätasaisuus oli suurempaa kuin Tornio – Kemi suunnan ja molemmissa suunnissa oikean ajokaistan epätasaisuus oli selvästi suurempaa kuin vasemman ohituskaistan. Kesällä 2002 nämä kaistojen väliset erot olivat tosin lähes tasoittuneet.



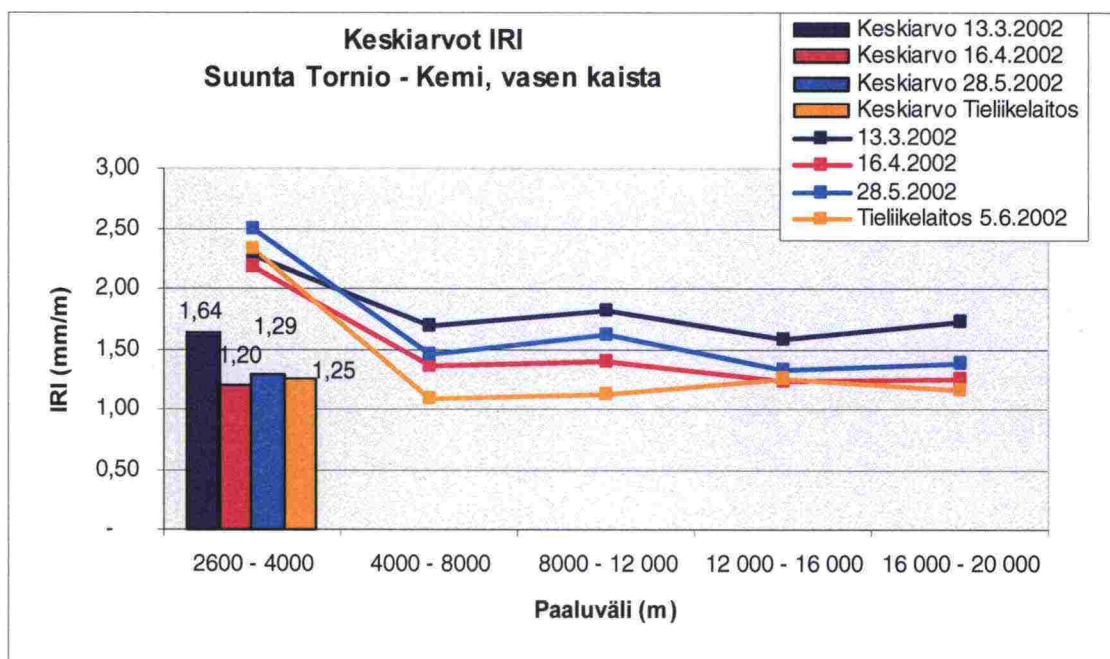
Kuva 6. Keskimääräiset IRI arvot Road Master ja PTM (Tieliikelaitos) autoilla mitattuna talvella ja keväällä 2002. Suunta Kemi – Tornio, oikea kaista.



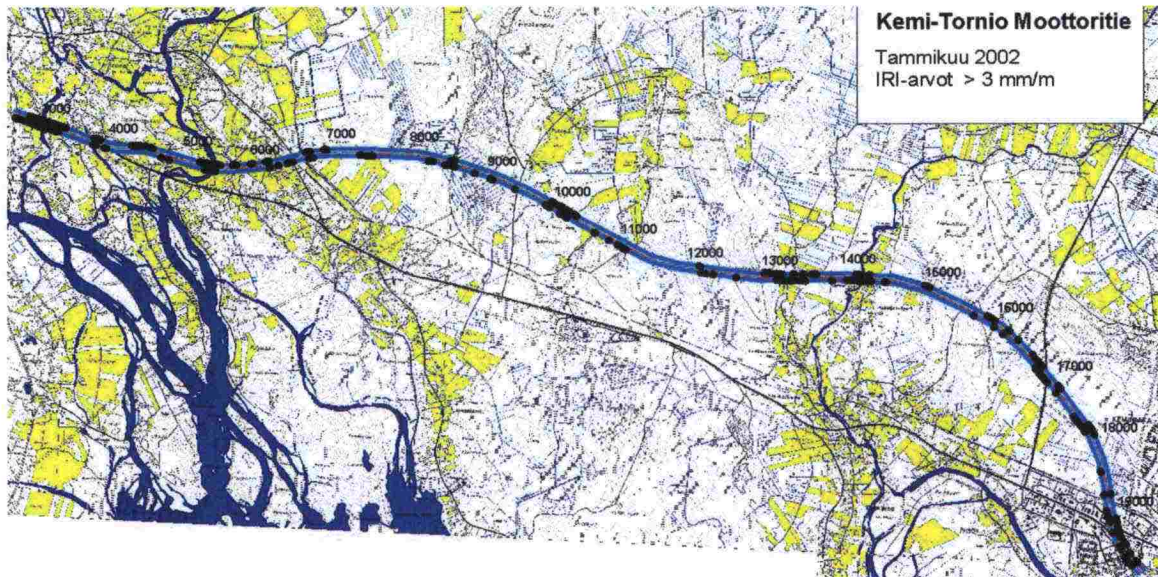
Kuva 7. Keskimääräiset IRI arvot Road Master ja PTM autoilla (Tieliikelaitos) mitattuna talvella ja keväällä 2002. Suunta Kemi – Tornio, vasen kaista.



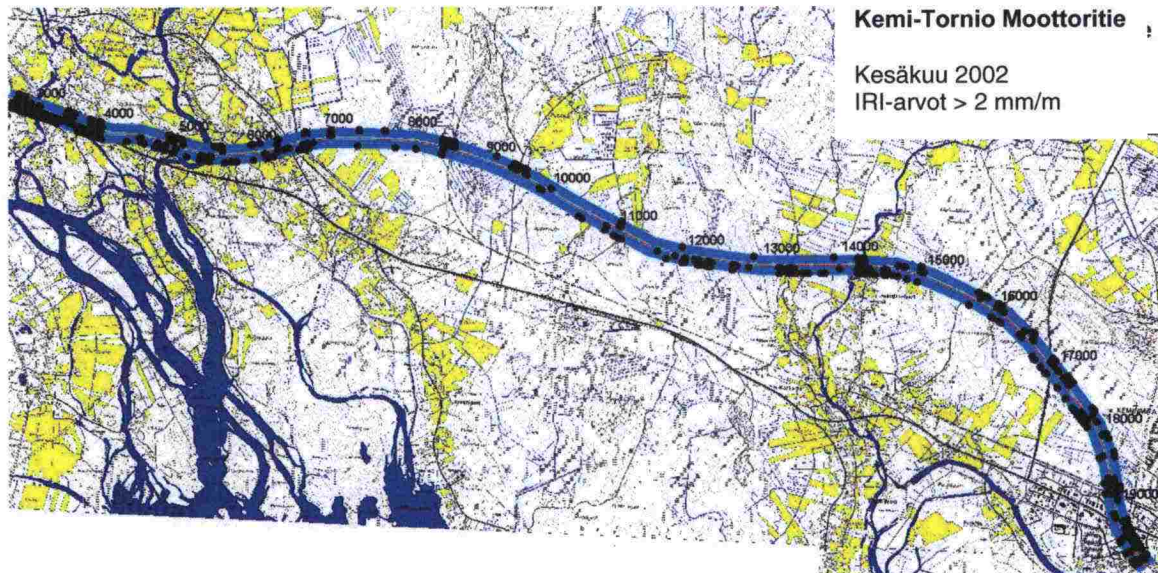
Kuva 8. Keskimääräiset IRI arvot Road Master ja PTM autoilla (Tieliikelaitos) mitattuna talvella ja keväällä 2002. Suunta Tornio - Kemi, oikea kaista.



Kuva 9. Keskimääräiset IRI arvot Road Master ja PTM autoilla (Tieliikelaitos) mitattuna talvella ja keväällä 2002. Suunta Tornio - Kemi, vasen kaista.



Kuva 10. Korkeimpien IRI arvojen ($IRI > 3$) alueellinen esiintyminen tammikuussa 2002.



Kuva 11. Korkeimpien IRI arvojen ($IRI > 2$) alueellinen esiintyminen kesäkuussa 2002. Mittaukset tehty Tieliikelaitoksen PTM autolla.

3.3 Uramittaukset

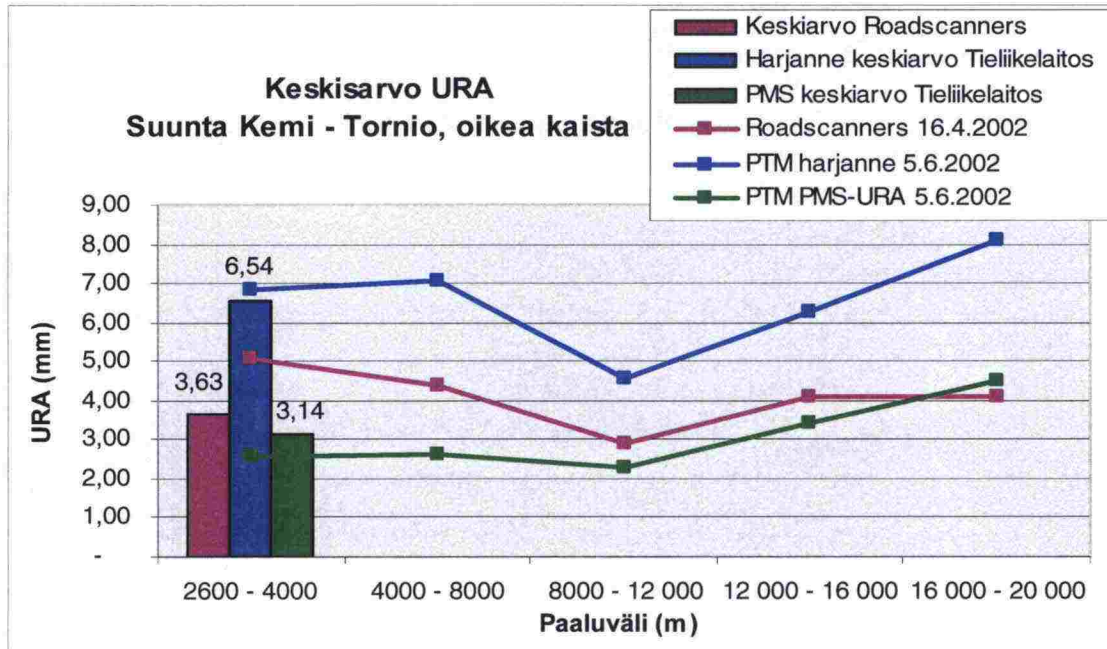
URA-mittaukset tehtiin Road Master kalustolla vain kerran, 16.4.2002, kun tien pinta oli sula, mutta runko ja pohjamaa olivat vielä jäässä. Toisen kerran URA-mittaukset tehtiin Tieliikelaitoksen PTM-autolla 5.6.2002, jolloin tie oli kokonaan sulanut. Tästä syystä mittaustuloksia ei voida suoraan verrata keskenään. Yhteenveto uramittaustuloksista on esitetty taulukossa 4 ja kuvissa 12 – 15. Kuvassa 16 on esitetty PTM autolla mitattujen yli 10 mm:n harjanneurien alueellinen sijainti.

Taulukko 4. Kemi-Tornio moottoritien keskimääräiset ura-arvot (mm) Roadscanners Oy:n Road Master (RM) kalustolla ja Tieliikelaitoksen PTM kalustolla mitattuna

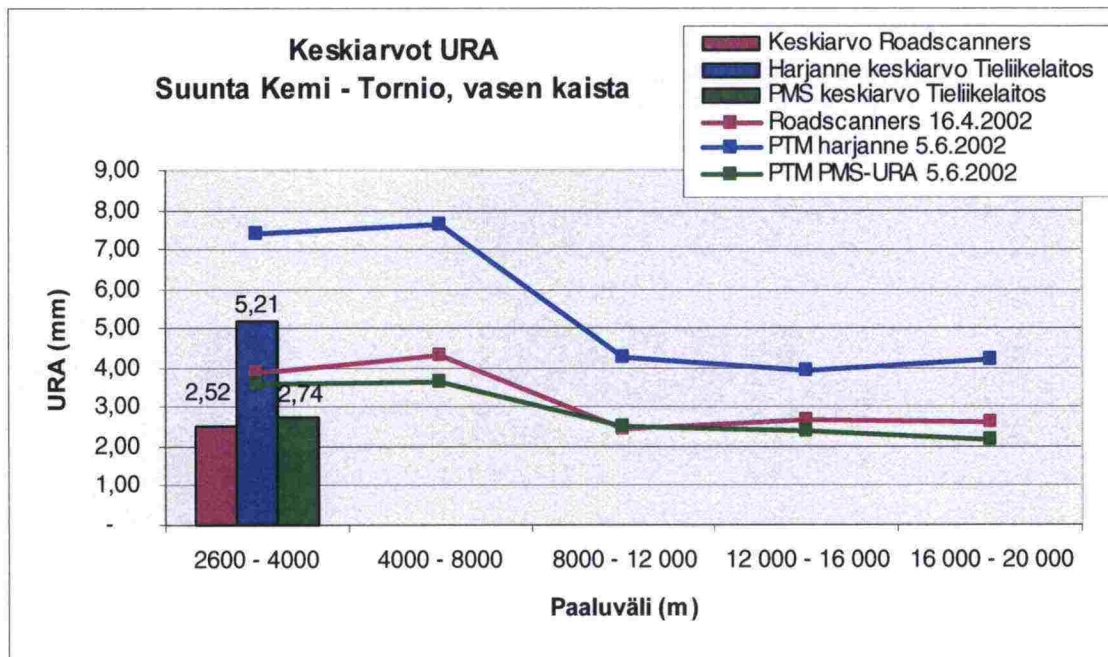
Suunta/kaista	16.04. RM (mm)	05.06. PTM/harj. (mm)	05.06. PTM/PMS (mm)
Ke – To, oikea	3,63	6,54	3,14
Ke – To, vasen	2,52	5,21	2,74
To – Ke, oikea	4,60	6,54	2,28
To – Ke, vasen	4,84	5,89	2,71

URA-mittaustulokset osoittavat, että urasyvytydet olivat suurimmaksi osaksi suhteellisen pieniä, mutta muutamissa kohteissa urautuminen on ollut poikkeuksellisen nopeaa (kuva 16). Keskimäärin urautuminen oli Kemi – Tornio suunnassa suurempaa Tornion päässä ja Tornio – Kemi suunnassa Kemin päässä. Pahimmin urautunut kohde sijoittuu Kemi – Tornio suunnalla paaluvälille 3000 – 5000 m Yli-Raumon kylän kohdalle. Tällä kohdalla urasyvyys oli etenkin talvella silmiinpistävä suuri. Muita urautuneita kohteita ovat oikea ajokaista Tornio – Kemi suunnalla Luukkaankankaan – Kaakamojoen välillä, sekä lisäksi paaluvälillä 15 500 – 17 500 m ja Laurilan ja Isohaaran liittymän välillä Tornio – Kemi suunnalla. Kalliroleikkauksen kohdalla urautumista tavattiin vain Kemi-Tornio suunnassa oikealla kaistalla. Molemmilla ajosuunnilla välillä 14 400 – 14 500 m esiintyy korkeaa urautumista, mikä viittaisi pohjamaasta johtuvaan urautumiseen.

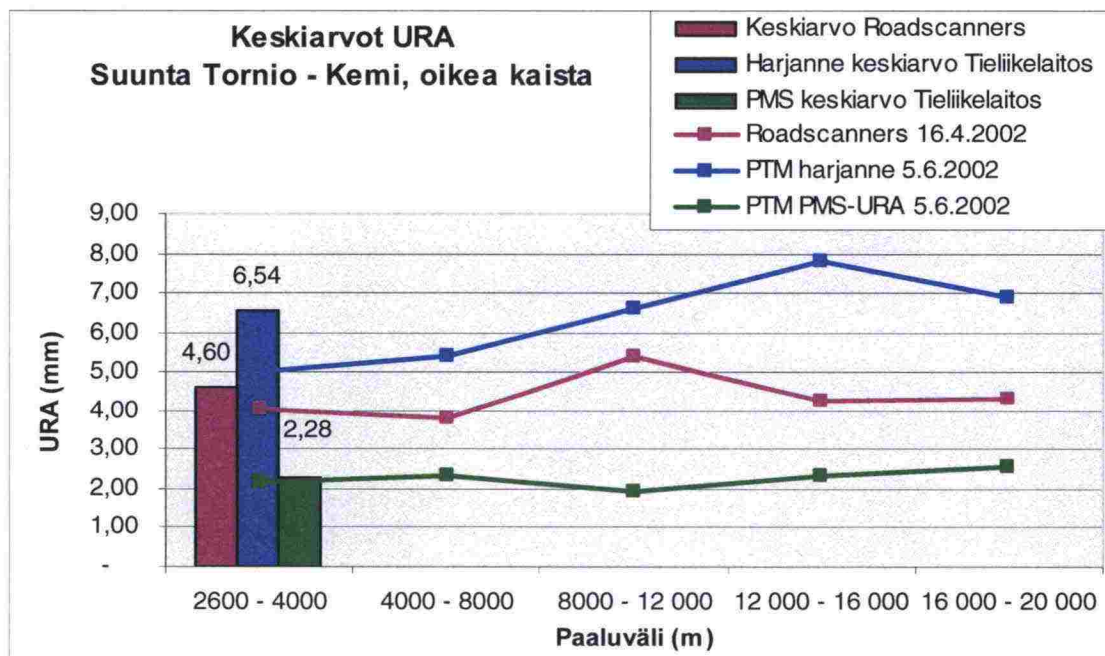
Erikoista uramittaustuloksissa oli se, että nastarengaskulumista kuvaava PTM auton ns. PMS ura oli Tornio – Kemi suunnassa yli 0,4 mm suurempi vasemmalla ohituskaistalla kuin oikealla ajoradalla.



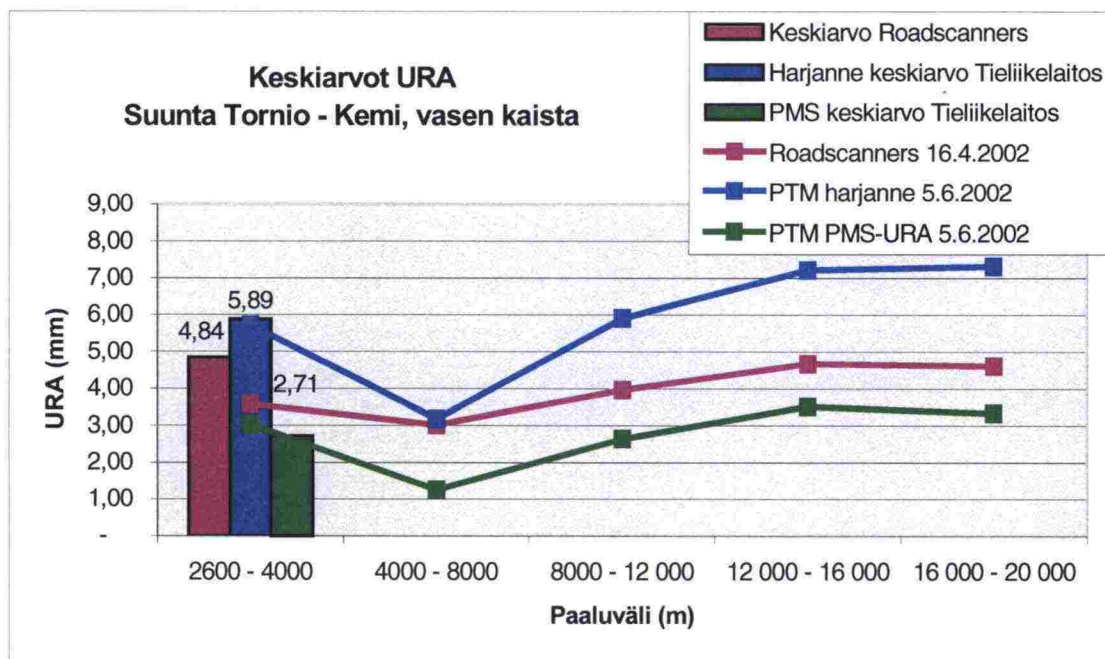
Kuva 12. Roadscannersin Road Master kalustolla 16.4.2002 ja PTM kalustolla 5.6.2002 mitatut ura-arvot Kemi – Tornio moottoritiellä. Suunta Kemi – Tornio, oikea kaista.



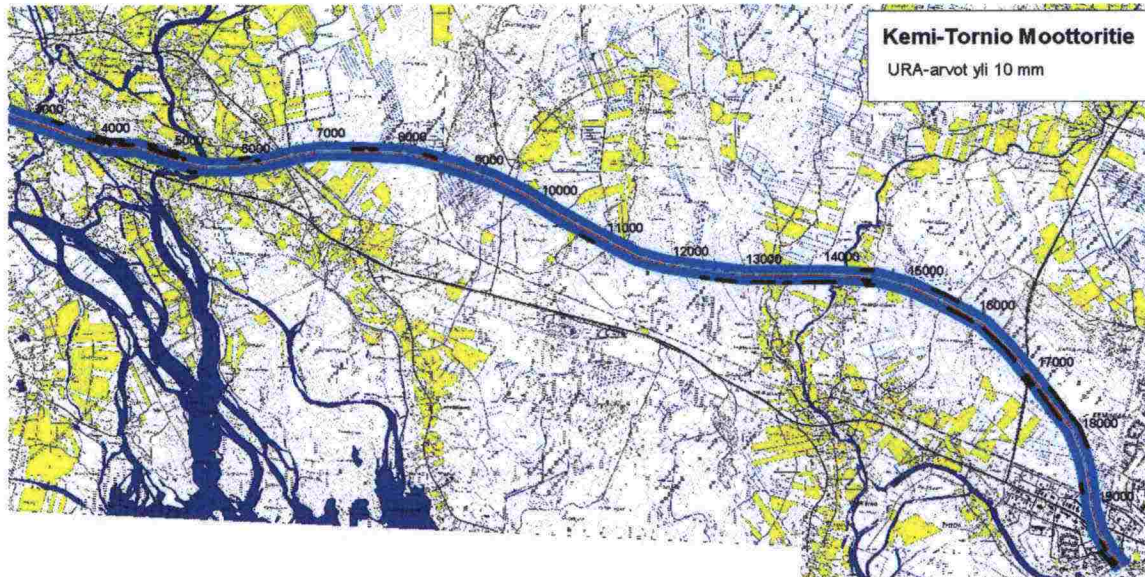
Kuva 13. Roadscannersin Road Master kalustolla 16.4.2002 ja PTM kalustolla 5.6.2002 mitatut ura-arvot Kemi – Tornio moottoritiellä. Suunta Kemi – Tornio, vasen kaista.



Kuva 14. Roadscannersin Road Master kalustolla 16.4.2002 ja PTM kalustolla 5.6.2002 mitatut ura-arvot Kemi – Tornio moottoritillä. Suunta Tornio – Kemi, oikea kaista.



Kuva 15. Roadscannersin Road Master kalustolla 16.4.2002 ja PTM kalustolla 5.6.2002 mitatut ura-arvot Kemi – Tornio moottoritillä. Suunta Tornio – Kemi, vasen kaista

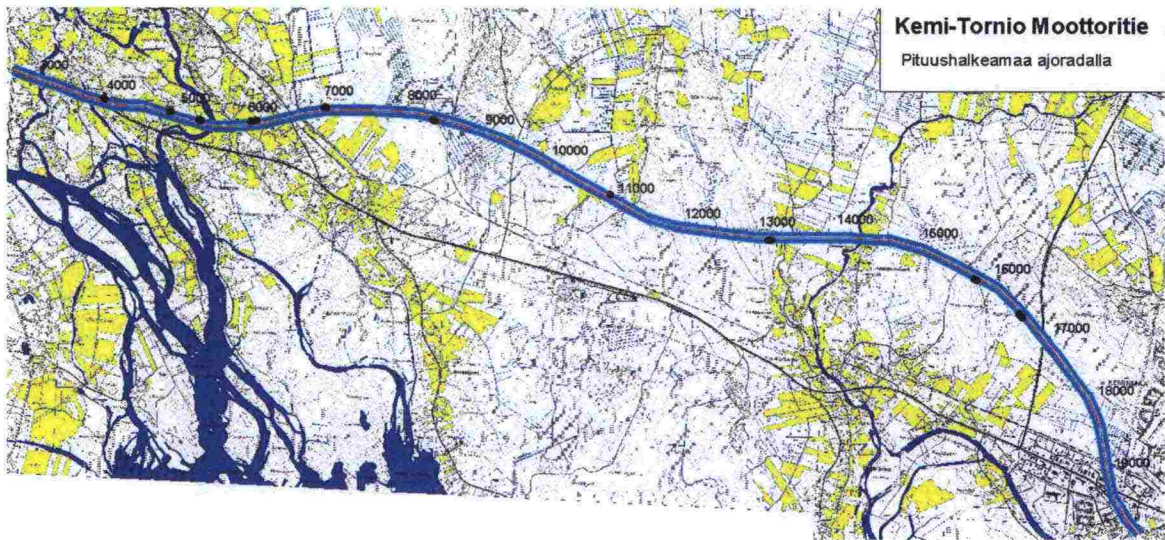


Kuva 16. Tieliikelaitoksen PTM autolla mitattujen yli 10 mm harjanneura-arvojen sijainti Kemi-Tornio moottoritiellä kesäkuun alussa 2002.

3.4 Päällystevaurioinventointi

Päällystevaurioinventointi tehtiin ensimmäisen kerran Kari Hietalan toimesta helmikuussa 2002. Tällöin tavoitteena oli määrittää poranäytteiden ottokohteet. Tämä tutkimus tehtiin karkeasti henkilöauton trippitarkkuudella ja siksi tarkempi PVI tehtiin huhtikuun 2002 maatutkamittausten yhteydessä otetusta digitaalivideosta. Videosta analysoitiin ajokaistalla olevat pituushalkeamat, saumahalkeamat sekä näkyvästi epätasaiset päällystejaksot. Analysointi oli kuitenkin erittäin vaikeaa ja vain pahimmat halkeamapaikat voitiin paikallistaa.

Kuvassa 17 on esitetty oikealla ajokaistalla havaittujen pituushalkeamien sijainti. Muutamissa kohteissa pituushalkeamat näkyivät myös kesällä 2002 (kuva 18). Tämän lisäksi useassa kohdassa oli syytä epäillä saumahalkeamia. Videon perusteella ja kesällä 2002 havaitut halkeamat olivat verrattain lyhyitä vaikkakin talvikaudella nämä halkeamat vaikuttivat esiintyneen pitemmällä matkalla. Ajokaistan pituushalkeamat esiintyivät oikealla kaistalla sisemmän ajouran molemmin puolin.



Kuva 17. Huhtikuussa 2002 ajokaistalta kartoitettujen pituushalkeamien sijainti. Kaikki ajokaistan halkeamat tavattiin oikealta ajokaistalta



Kuva 18. Esimerkki pituushalkeamasta Tornio – Kemi suunnan paalulta n. 4000 m. Pituushalkeaman kohdalla havaittiin talvella myös kapeaa saumahalkeamaa.

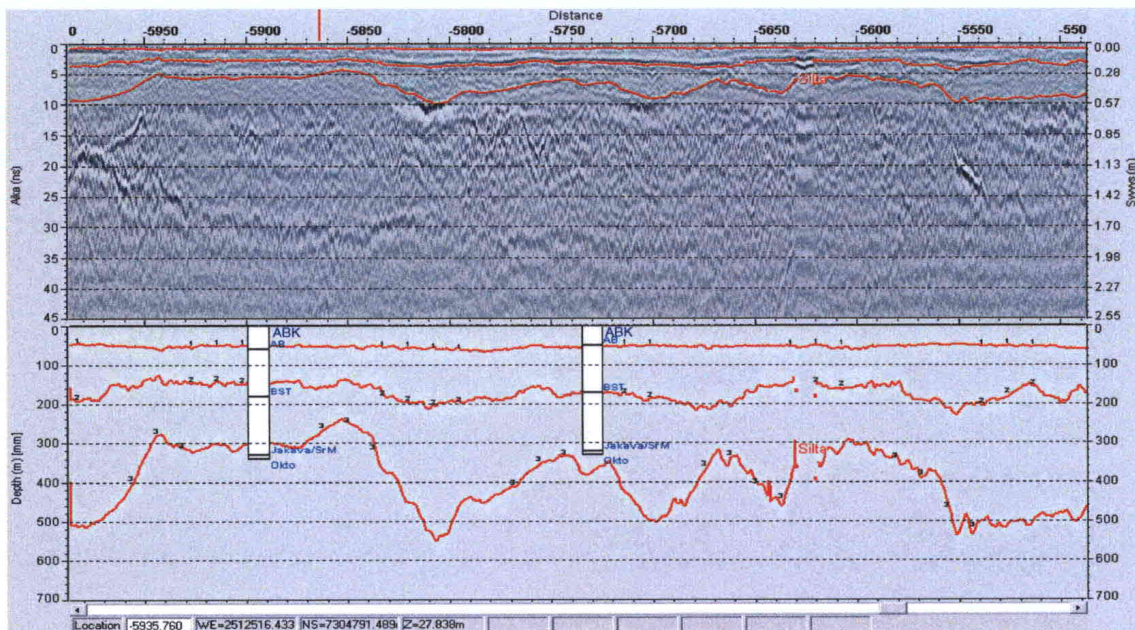
3.5 Maatutkamittaukset

Maatutkamittaukset 400 MHz:n antennilla tehtiin jokaiselta kaistalta ensimmäisen kerran 27.2.2002. Mittaukset tehtiin Roadscanners Oy:n kalustolla. Tämän mittauksen tavoitteena oli paikallistaa epätasaisuuden aiheuttavia mahdollisia jäälinssejä tierakenteista ja pohjamaasta. Mittausten tuloksia käytettiin myös näytteenottoa paikkojen määrittämisessä.

Maatutkamittaukset uusittiin maan ollessa sulana kesäkuussa 2002. Mittaus päätettiin uusiksi sen jälkeen, kun tutkimuksissa oli tullut ilmi, että ABK ja BST olivat osittain halkeilleet. Näiden Tieliikelaitoksen maatutkakalustolla 400 MHz maavaste ja 1,0 GHz kartiotorniantennilla tehtyjen tutkimusten tavoitteena oli tuottaa lisätietoa vaurioalueista sekä ennenkaikkea tarkkaa paksuustietoa moduuleiden takaisinlaskentaa varten.

Edellisten tulosten lisäksi raportin tekijät saivat käyttöönsä Tieliikelaitoksen maatutkaryhmän Skanska Asfaltti Oy:lle tekemät laadunvalvontamittaukset ja siinä yhteydessä mitatun maatutkadatan.

Maatutkatuloksista tulkittiin kesän 2002 1.0 GHz:n datasta ABK:n ja BST:n paksuudet sekä sitomattoman jakavan kerroksen paksuudet (kuva 19). Lisäksi yksittäisissä vauriokohteissa tulkittiin 400 MHz:n datasta rakennekerrosten kokonaispaksuudet ja muut havaittavat rakenteet



Kuva 19. Maatutkatulkinta oktorakenteen kohdalta paaluväliltä 6000 – 5500 m suunnassa Kemi – Tornio. Tutkatatassa on esitetty päällekkäin 1.0 GHz:n ja 400 MHz mittausdatat.

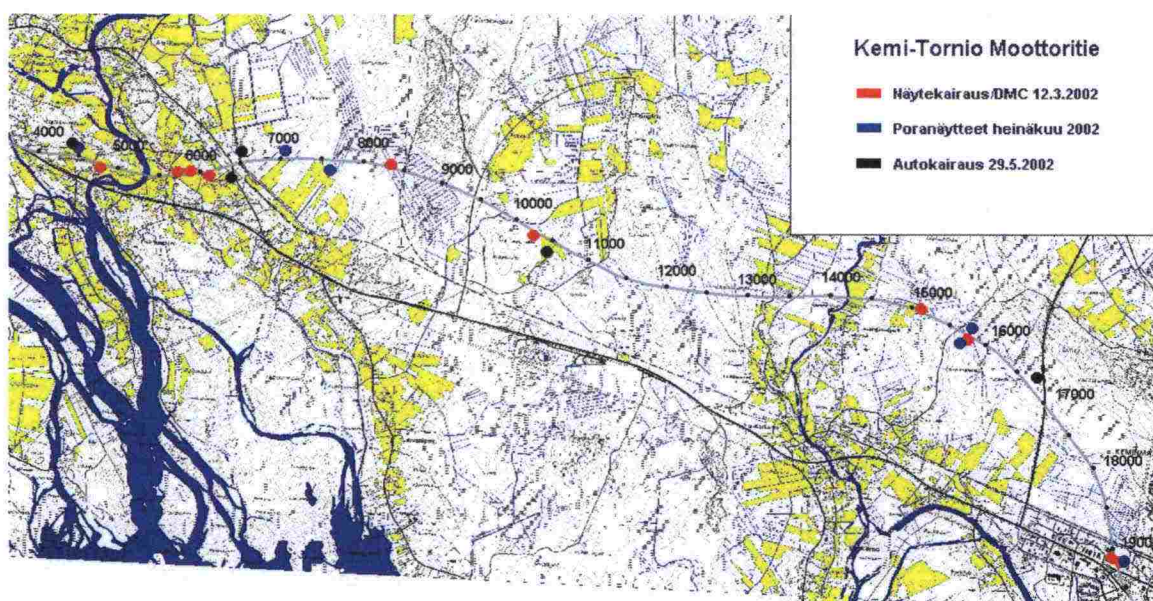
3.6 Näytteenotto ja laboratorioanalyysit

3.6.1 Yleistä

Maaliskuussa 2002 maatutkaluotausten ja päällystevaurioinventoinnin perusteella valittiin tieltä 10 näytepistettä (kuva 20), jotka edustavat erilaisia vauriotyyppejä ja tierakenteita. Näytteenotto pisteistä suoritettiin 12.3.2002 ruotsalaisen DMC Ab:n toimesta yhtiön kehittämällä timanttiporauskalustolla. Kalustolla voidaan tierakenteesta ottaa jatkuva, maksimissaan 100 cm pitkä ja halkaisijaltaan 100 mm:n näyte muoviputkeen (kuva 21). Näytteenoton jälkeen muoviputki halkaistaan, jolloin tierakenne voidaan määrittää tarkasti.

Toisen kerran poranäytteitä otettiin heinäkuussa 2002 sen jälkeen kun pp-laitetulokset olivat osoittaneet, että sidottujen kerrosten moduuliarvot olivat pudonneet talven aikana. Tällöin Tieliikelaitos ja Skanska Asfaltti ottivat ABK + BST näytteet 100 mm ja 200 mm timanttikairalla kahdeksasta kohteesta. Osa näytteistä otettiin maaliskuussa otettujen näytekohteiden viereltä. Näytteiden sijainti on esitetty kuvassa 20.

Edellisten lisäksi Tieliikelaitos suoritti 29.5.2002 autokairauksia muutamassa pisteessä tavoitteenaan tarkistaa materiaalin laatua ja kerrospaksuuksia. Autokairaukset tehtiin tien luiskasta. Kairapisteiden sijainti on myös esitetty kuvassa 20.



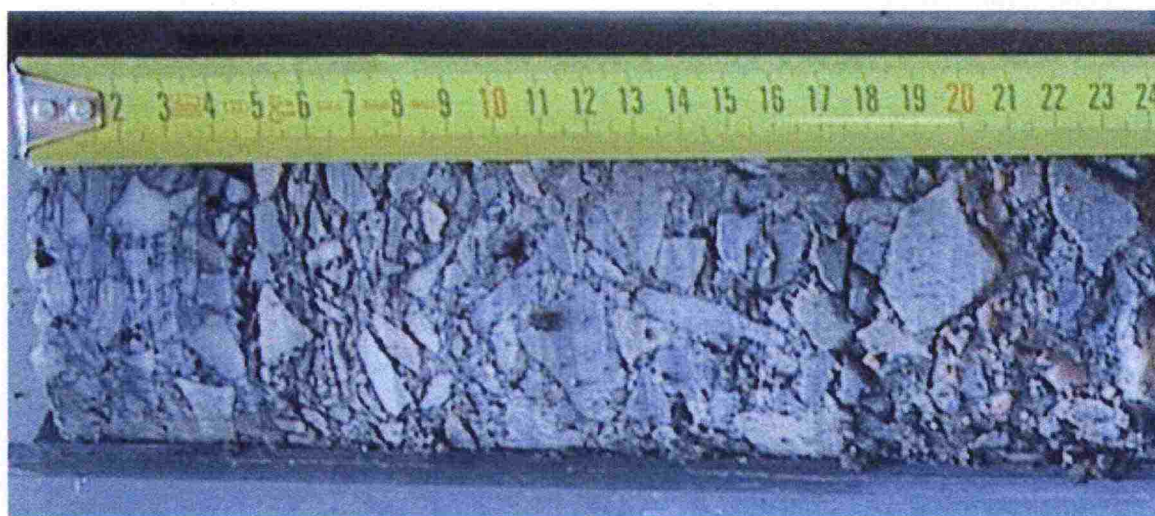
Kuva 20. Poranäytteenottopaikat maaliskuussa 2002 (punaiset pisteet) ja heinäkuussa 2002 (siniset pisteet) sekä autokairapisteet (mustat pisteet).



Kuva 21. Näytteenottoa DMC Ab:n timanttikairauskalustolla sekä muoviputkeen ajettu jatkuva näyte päällysrakenteesta. Näytteenotto onnistui muuten hyvin, mutta oktorakennekohteissa ei kuonahiekka suostunut katkeamaan näytettä nostettaessa ja näiltä kohdilta näyte saatiin vain kuonahiekan pintaan saakka.

3.6.2 Poranäytteiden visuaalinen analyysi

Maaliskuun poranäytteenotto osoitti, että joillakin kohteilla ABK:n alaosa ja BST:n yläosa olivat jo rikkoutuneet ja että segregatiojäättä esiintyi runsaasti tässä kerroksessa. Kuvat 22 ja 23 esittävää näytettä ja näyttereikää paalulta 19170 m suunnalta Kemi –Tornio, jossa tie oli tammikuussa todella epätasainen. Kuvan 22 poranäyte sisältää runsaasti jäätä välillä 45 – 95 mm (koko ABK+BST näytteen vesipitoisuus oli lähes 6 %) ja tämä kohta on lähes täysin rikkoutunut. Sama rikkoutuminen näkyy kuvassa 23 ja näytteenoton jälkeen materiaalia tästä kerroksesta varisi porareiän pohjalle. Poranäytteissä esiintynyt jää näkyi joko kuten tässä poranäytteessä tai sitten joissakin näytteissä jää esiintyi ohuena kerroksena kiviainespartikkelin ja mastiksin välissä. Tasaisista kohteista otetut referenssinäytteet olivat sensijaan ehjiä eikä niissä ollut halkeamia.



Kuva 22. Poranäytteen yläosa paalulta 19170 suunnalta Kemi - Tornio. Kuvassa näkyy välillä 45 – 95 mm segregatiojään hajoittama ABK:n alaosa ja BST kerroksen yläosa.



Kuva 23. Näytterikä paalulta 19170 suunnalta Kemi – Tornio. Vaurioitunut kerros varisi välittömästi näytteenottoreiän pohjalle.

Heinäkuussa otettujen poranäytteiden tulokset on esitetty taulukossa 5. Kuvassa 24 on esitetty poranäytteet vaurioituneesta kohdasta paalulta 4400. Kuva 25 puolestaan esittää ehjää poranäytettä talvella vaurioituneen kohteen vierestä paalulta 19170. Kuva osoittaa, että vaurioituminen saattaa olla hyvinkin paikallista.

Taulukko 5. Heinäkuun 2002 poranäytteiden paksuudet ja kunto.

suunta	paalu (m)	materiaali	paksuus (mm)	havainnot
Tornio-Kemi	4400	ABK BST	0 - 55 55 - 110	110 mm alapuolella BST täysin murentunut
Tornio-Kemi	7600	ABK BST	0 - 50 50 - 200	BST täysin murentunut kivissä ei bitumia
Tornio-Kemi	10266	ABK BST	0 - 48 48 - 65	65 mm alapuolella BST täysin murentunut
Tornio-Kemi	15708	ABK BST	0 - 55 55 - 180	ABK parempi kuin edellä! BST poikki n. 75 mm:n kohdalla
Kemi - Tornio	4450	ABK BST	0 - 60 60 - 90	90 mm:n alapuolella BST täysin murentunut
Kemi - Tornio	7050	ABK BST	0 - 60 60 - 170	Näyte ehjä
Kemi - Tornio	15750	ABK BST	0 - 40 40 - 165	Näyte ehjä
Kemi - Tornio	19170	ABK BST	0 - 50 50 - 165	Näyte ehjä



Kuva 24. Halkaisijaltaan 100 ja 200 mm:n poranäytteet paalulta 4450 m suunnasta Kemi – Tornio. ABK:n alapuolella oleva BST oli käytännössä murentunut. Huomattavaa on että porareistä kaivetut kivet olivat lähes puhtaita eikä bitumia tavattu edes pienempien kivien pinnalta. Sidotun kerroksen pp-laitetuloksista takaisinlaskettu moduuliarvo oli tällä kohdalla vain 1165 Mpa.



Kuva 25. Ehjä poranäyte paalulta 19170 suunnalta Kemi - Tornio. Näyte on otettu kuvan 23 ja 24 näytekohdan vierestä.

3.6.3 Laboratoriotulokset

Maaliskuussa tehdyn timanttiporanäytteenoton jälkeen näytteet valokuvattiin ja rakenteiden paksuudet määritettiin. Tämän jälkeen näytteet lähetettiin Tieliikelaitoksen Oulun laboratorioon, jossa näytteille tehtiin seuraavat analyysit:

- kosteus ABK, BST, jakava, suodatin (20 kpl)
- rakeisuus jakava (6 kpl)
- tyhjättila ABK, BST (15 kpl)
- bitumipitoisuus ABK, BST (yhdistetyt näytteet, 2 kpl)
- imeytyskoe ABK, BST (5 kpl)
- kloridipitoisuus ABK, BST, jakava (18 kpl)

Liitteessä 2. on esitetty näytteistä otetut valokuvat, paksuustiedot sekä keskeisiä laboratorioanalyysin tuloksia.

Taulukossa 6. on esitetty maaliskuun poranäytteiden paksuudet ja vesipitoisuudet. Taulukko osoittaa, että sidottujen kerrosten kokonaispaksuudet olivat varsin tasaisia ja vaaditun mukaisia. Sen sijaan näytteiden kosteudet olivat suuria ja jopa 6,5 % vesipitoisuuksia mitattiin, mikä osoittaa näytteiden imeneen runsaasti vettä. Keskimäärin sidottujen näytteiden vesipitoisuus oli 4,6 %. Myös jakavan kerroksen kosteus oli paikoin korkea etenkin välittömästi sidottujen kerrosten alapuolella. Tämä osoittaa kryoimupaineen imeneen vettä jäätymisvaiheessa alemmalla. Toisaalta kohonneet suolapitoisuudet osoittivat, että vettä on tullut myös sidottujen kerrosten läpi. Korkeimmillaan jakavan vesipitoisuus oli paalulla 10 260 m suunnassa Tornio – Kemi, jossa se oli 7.35 %. Näin suuri vesipitoisuus osoittaa, että kerroksessa on ollut myös segregatiojääitä. Myös poranäytteissä havaittiin runsaasti jäätä tässä näytteessä. Samassa näytteessä myös suodatinhiekan vesipitoisuus oli erittäin korkea.

Taulukko 6. Poranäytteiden paksuudet ja kosteudet maaliskuussa 2002.

Suunta	Paalu	Materiaali	Syvyys	Kosteus	Havainnot
Tornio - Kemi	4780	AB + BST	0 - 180	3.38	poikki 75 mm pinnasta
		Jakava	180 - 360	3.81	
Kemi - Tornio	5730	AB + BST	0 - 170	3.50	ehjä kappale
		Jakava	170 - 320	3.65	
Kemi - Tornio	5894	AB + BST	0 - 180	5.67	poikki 60, 100, 130 mm pinnasta
		Jakava	180 - 330	3.55	
Tornio - Kemi	6100	AB + BST	0 - 190	4.12	poikki 55 mm pinnasta
		Jakava	190 - 300	6.41	
Kemi - Tornio	8333	AB + BST	0 - 170	2.94	ehjä kappale
		Jakava	170 - 300	4.60	
		Jakava	300 - 420	3.42	
		Jakava	420 - 530	3.23	
Tornio - Kemi	10266	Hk	530 - 760	10.73	poikki 60 mm pinnasta
		AB + BST	0 - 180	6.48	
		Jakava	180 - 250	7.35	
		Jakava	250 - 310	4.05	
Kemi - Tornio	15098	Jakava	310 - 460	2.21	poikki 50 mm pinnasta
		Hk	460 - 680	13.39	
		AB + BST	0 - 210	3.32	
		Jakava	210 - 310	4.41	
Tornio - Kemi	15768	AB + BST	0 - 190	4.09	poikki 75 mm pinnasta
		Jakava	190 - 380	3.85	
Tornio - Kemi	19092	AB + BST	0 - 180	4.13	poikki 80 mm pinnasta
		Jakava	180 - 240	4.02	
		Jakava	240 - 380	4.44	
		Jakava	380 - 480	5.47	
		Kiilausmurske	480 - 750	4.38	
Kemi - Tornio	19170	AB + BST	0 - 180	5.79	poikki 60 mm pinnasta
		Jakava	180 - 250	4.06	
		Jakava	250 - 370	2.77	
		Jakava	370 - 510	3.37	

Taulukossa 7 on esitetty bitumilla sidottujen näytteiden analyysitulokset. Kaikissa analysoiduissa näytteissä tavattiin runsaasti klorideja. BST kerroksessa kloridipitoisuus oli selvästi suurempi kuin ABK kerroksessa. Suurimmat suolapitoisuudet tavattiin näytteissä pl 5894 ja pl 10266 ja nämä näytteet olivat myös eniten murentuneet. Sideainepitoisuus mitattiin yhdistetyistä näytteistä ja tulosten mukaan sideainemäärä oli vaaditun mukainen. Näytteiden tyhjätilat olivat sensijaan selkeästi suurempia kuin edellisen vuoden laadunvalvontatuloksissa. Tämä osoittaa, että näytteessä ollut jäänyt vesi on suurentanut massan huokostilavuutta. Ehjimmille BST näytteille tehty imupainekoetta simuloiva vedenimeytyskoe antoi huomattavasti pienempiä vesipitoisuuksia kuin tieltä otetuista näytteistä mitatut vesipitoisuudet, mikä puolestaan osoittaa kryoimupaineen merkityksen vaurioprosessissa.

Taulukko 7. Bitumilla sidottujen näytteiden analyysitulokset

Paalu	Kloridipit.	Kloridipit.	Sideaine	Sideaine	TT	TT	Vedenimeytys (BST)		
	(mg/kgKA)	(mg/kgKA)					(%)	(%)	(%)
	BST	ABK	BST	ABK	BST	ABK	4/12/02	4/19/02	
4780					15.3	5.3	1562.6	1616	3.44
5730						6.2			
5894	2100	140				7.7			
6100	340	130			15.0	7.4	2161.9	2178	0.76
8333	65	52				5.6			
10266	1200	230				5.3			
15098	190	71				5.9			
15768					14.9	7.5	1680.8	1734	3.17
19092					13.4	7.7	1575.6	1627	3.26
19170	610	110			16.0	7.5	1560.9	1630	4.39
Keskiarvot			3.27	4.69	14.9	6.5			

Taulukossa 8. on esitetty sitomattomista näytteistä tehtyjen laboratorioanalyysien tulokset. Näytteiden rakeisuusanalyysit osoittivat, että hienoainepitoisuus oli hieman noussut ja jakavan kerroksen hienoainepitoisuus oli keskimäärin 6,9 %. Laboratorioluokituksen mukaan yhtä lukuunottamatta kaikki muut näytteet olivat routivia. Vaikka näytteenottotekniikka on voinut nostaa hieman hienoainepitoisuutta, voidaan hienoainepitoisuuden todeta selkeästi nousseen. Puolessa analysoiduista jakavan kerroksen näytteistä tavattiin myös kohonneita kloridipitoisuuksia ja maksimipitoisuus oli 480 mg/kg. Tämä osoittaa, että osassa näytteissä suolainen pintavesi on mennyt sidottujen kerrosten läpi aina jakavaan kerrokseen saakka. Korkean kloridipitoisuuden omaavissa näytteissä oli myös vesipitoisuus kohonnut.

Taulukko 8. Sitomattomien kerrosten laboratoriotutkimustulokset

Paalu (m)	Kaista	Suunta	Syvyys (mm)	Materiaali	Kost. (%)	Kloridipit. (mg/kgKA)	Rakeisuustutkimukset	
							#0,074 mm läp-%	Routiv.
4780	1	Tornio - Kemi	180 - 360	Jakava	3.81			
5730	1	Kemi - Tornio	170 - 320	Jakava	3.65			
5894	1	Kemi - Tornio	180 - 330	Jakava	3.55	30	7.4	rva
6100	1	Tornio - Kemi	190 - 300	Jakava	6.41	240	5.5	rton
8333	1	Kemi - Tornio	170 - 300	Jakava	4.60	<20	5.9	rva
8333	1	Kemi - Tornio	300 - 420	Jakava	3.42			
8333	1	Kemi - Tornio	420 - 530	Jakava	3.23			
10266	1	Tornio - Kemi	180 - 250	Jakava	7.35	480	9.3	rva
10266	1	Tornio - Kemi	250 - 310	Jakava	4.05			
10266	1	Tornio - Kemi	310 - 460	Jakava	2.21			
15098	1	Kemi - Tornio	210 - 310	Jakava	4.41	<20	7.6	rva
15768	1	Tornio - Kemi	190 - 380	Jakava	3.85			
19092	1	Tornio - Kemi	180 - 240	Jakava	4.02			
19092	1	Tornio - Kemi	240 - 380	Jakava	4.44			
19092	1	Tornio - Kemi	380 - 480	Jakava	5.47			
19170	1	Kemi - Tornio	180 - 250	Jakava	4.06	330	5.8	rva
19170	1	Kemi - Tornio	250 - 370	Jakava	2.77			
19170	1	Kemi - Tornio	370 - 510	Jakava	3.37			
10266	1	Tornio - Kemi	460 - 680	Hk	13.39			
8333	1	Kemi - Tornio	530 - 760	Hk	10.73			
19092	1	Tornio - Kemi	480 - 750	Kiilausmurske	4.38			

Taulukossa 9. on esitetty yhteenveto 29.05.2002 tehdyistä autokairaustuloksista. Luiskasta otetuista näytteistä jakavan pinnassa tavattiin 20 cm paksus kerros kalliomursketta, jonka hienoainespitoisuus oli n. 6 % kolmessa näytteessä ja alle 4% kahdessa näytteessä. Tämän murskeen alla ollut soramurskeesta tehty jakava kerros oli routimaton kaikissa näytteissä. Paalun 16800 jakava kerros oli tehty kokonaan routimattomasta kalliomurskeesta. Oktoeristerakenteiden kohdalla kerrospaksuus oli kahdessa pisteessä suunnitelman mukainen 1100 mm ja mutta paalulla 6612m 920 mm. Paalun 10 500 näytteessä, jossa rakenne oli ns. ohut päällysrakenne 960 mm, oli rakenteiden kokonaispaksuus vain 700 mm ja tämän alla tavattiin routivaa siHkMr, jonka hienoainespitoisuus oli 50 % ja kosteus 10 %. Tässä kohdassa rakenne on ollut selkeästi liian ohut. Sen sijaan paalulla 16 800 m erittäin kostean siltin päällä oli 2500 mm paksu hiekkarakenne. Suodatinhiekan hienoainespitoisuus oli 11,5, mutta materiaali oli laboratorioluokituksen mukaan routimatonta ja kosteus oli vain 4,8 %.

Taulukko 9. Autokairaustulokset 29.5.2002

suunta/rak.	paalu	kerrospaks. (cm)	materiaali	Laboratoriotulokset			
				0,074 läp%	maalajilk	routivuus	vesipit.
Tornio - Kemi	6500	0 - 20	jakava	6.1	KaM	routiva	1,4
oktoeriste		20 - 41	jakava	3.7	SrM	routimaton	2.2
		41 - 113	suodatin				
		113	suodatinkangas				
		113 - 200	pohjamaa	-	saSi	routiva	57.1
Tornio - Kemi	10500	0 - 22	jakava	6.2	KaM	routiva	1.1
ohut pääl.rak.		22 - 42	jakava	4.5	SrM	routimaton	2.7
(960 mm)		42	muovi				
		42 - 70	suodatin	7.3	keHk	routimaton	3.5
		70 - 100	penger	50.2	siHkMr	routiva	10.5
Kemi - Tornio	4388	0-22	jakava	6.0	KaM	routiva	1.1
oktoeriste		23-43	jakava	3.1	SrM	routimaton	1.9
		43-110	suodatin				
		110	suodatinkangas				
		110-210	pohjamaa	87.4	kaSi	routiva	32.0
Kemi - Tornio	6612	0-14	jakava	4.7	KaM	routimaton	1.2
paksu hk-rak		14-46	jakava	3.6	SrM	routimaton	2.0
2260 mm		46-92	suodatin				
(oktoeriste?)		92	suodatinkangas				
		92-190	pohjamaa	22.5	srHkMr	routiva	5.5
Kemi - Tornio	16800	0-40	jakava	4.4	KaM	routimaton	2.0
paksu hk-rak		40-250	suodatin	11.5	kaHk	routimaton	4.8
2260 mm		250-270	pohjamaa	83.1	hkSi	routiva	84.8

3.7 Kantavuusmittaukset

Kemi - Tornio moottoritieellä suoritettiin kantavuusmittaukset Tieliikelaitoksen konsultoinnin KUAB kalustolla ensimmäisen kerran syksyllä 2001 ja toisen kerran kesäkuun lopulla 2002, jolloin haluttiin tarkistaa oliko talven vauroilla ollut vaikutusta päällysteen moduuliarvoihin. Kantavuusmittaukset tehtiin molemmilta suunnilta oikeilta kaistoilta.

Kantavuusmittaustulokset liitettiin Roadscannersien toimesta Road Doctor projektiin, jolloin voitiin helposti verrata taipumasuppiloita eri vuosilta. ABK/BST kerroksen moduulit laskettiin juuri valmistuneella Road Doctor / Elmod 4.5 ohjelmistolla, jossa paksuusarvoina käytetään kunkin mittauspisteen maatutkamittaustuloksesta tulkittuja todellisia kerrospaksuuksia.

Kuvassa 26 on esitetty paaluväliltä 6700 – 7100 m Road Doctor profiililla maatutkatulokset, päällysrakenteen yläosan kerrospaksuudet, Road Master IRI arvot, taipumasuppilot 2001 (musta) ja 2002 (punainen) sekä PTM ura arvot (harjanne ja PMS ura). Kuvasta näkyy selvästi, että tällä jaksolla lähitaipumat ovat kasvaneet jopa yli 100 μm , mikä kertoo ylimpien kerrosten voimakkaasta heikkenemisestä. Toisaalta paalulla 6850 ja 6950 eroja ei voitu havaita, mikä kertoo puolestaan että heikkenemien ei ole ollut täysin jatkuvaa. Mielenkiintoinen havainto oli myös, että juuri näissä ”terveissä” kohdissa harjanneuran ja PMS uran arvoissa ei ollut isoja eroja, kuten tilanne on yleensä uusissa päällysteissä.

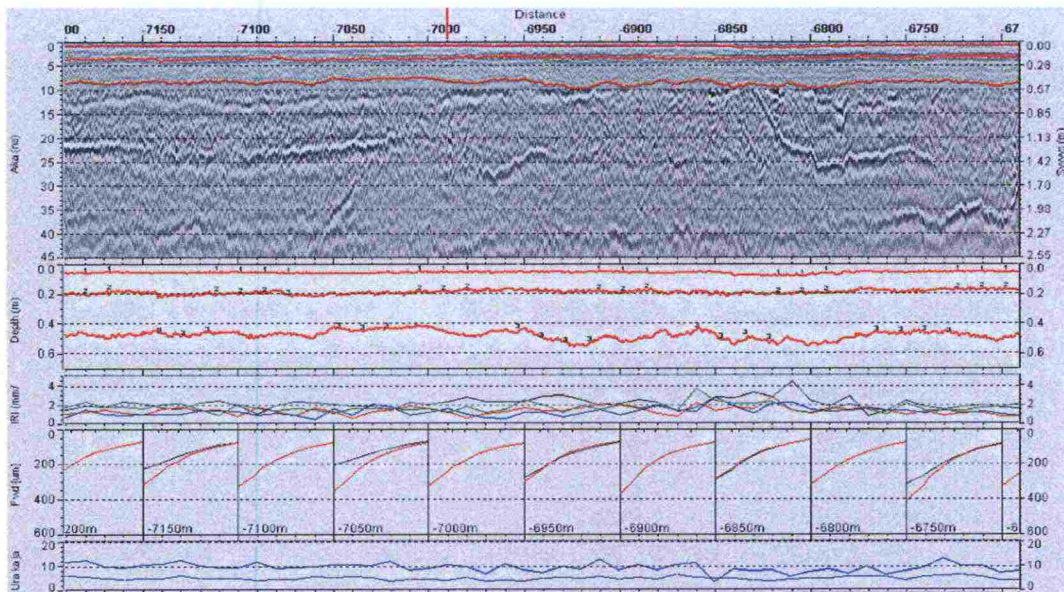
Kuvissa 27 ja 28 on esitetty molempien ajosuuntien sidottujen kerrosten takaisinlasketut moduuliarvot 2001 ja 2002. Moduuli-arvoja ei ole lämpötilakorjattu, mutta molempien mittausten aikana päällysteen lämpötilat olivat noin 17 °C. Kuvista näkyy, että sidottujen kerrosten jäykkyys on pudonnut talven aikana merkittävästi. Moduulien keskiarvot Tornio – Kemi suunnalla olivat vuonna 2001: 3167 MPa ja vuonna 2002: 1717 MPa ja suunnassa Kemi – Tornio 2001: 2859 MPa ja vuonna 2002: 1928 MPa. Näin moduulit ovat pudonneet keskimäärin noin 1000 MPa.

Kuvista 27 ja 28 voidaan myös havaita, että tien alkuosan 2000 – 3760 m moduulit olivat syksyllä 2001 erittäin korkeat, mutta vuonna 2002 etenkin Tornio – Kemi suunnalla ne olivat pudonneet alle tason 2000 MPa. Tällä jaksolla päällysteen dielektrisyysarvot vuonna 2002 olivat myös erittäin korkeita, mikä viittaa siihen, että päällyste on imenyt runsaasti vettä. Sen sijaan Kemi – Tornio suunnassa tämän alkujakson moduulit olivat korkeita vielä vuonna 2002. Toinen silmiinpistävä piirre kuvassa 28 oli Kemi – Tornio suunnan vuoden 2001 moduuliarvot syksyllä 2001 välillä 6 000 – 14 200 m. Tällä jaksolla moduuliarvot vaihtelivat suuresti 2000 – 8000 MPa:n välillä. Vaihtelut viittaisivat siihen, että lisäaineena käytetyn sementin pitoisuudet olisivat vaihdelleet tällä välillä tai sitoutuminen muuten on ollut epätasaista. Vuonna 2002 erot olivat kuitenkin tasoittuneet ja moduulit olivat selvästi pudonneet. Kemi – Tornio suunnalla paaluvälillä 14 200 – 16 800 moduulit olivat puolestaan alhaisia jo vuonna 2001.

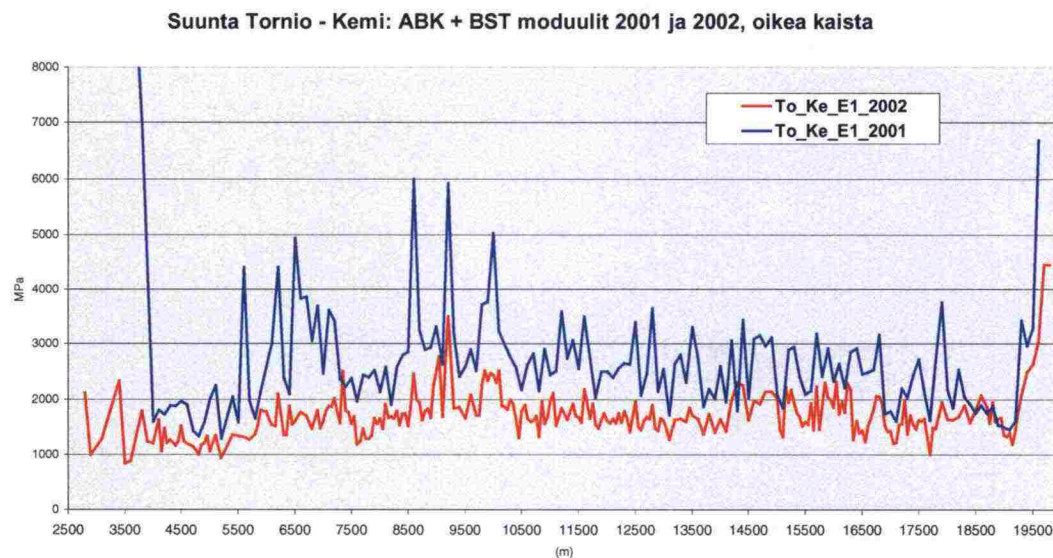
Tien loppuosassa suunnalla Tornio – Kemi paalulta 19 200 alkaen moduulit olivat normaalia tasoa molemmissa mittauksissa.

Kuvassa 29 on esitetty vuoden 2002 moduulien alueellinen jakautuminen. Kuvasta näkyy, että kaikkein heikoimmat yhtenäiset alueet sijaitsevat Tornio – Kemi suunnassa Raumon kylän kohdalla paaluvälillä 3500 – 5600 ja Kemi – Tornio suunnassa Kaakamojoen ja Rovaniemen tien välillä plv 14 000 – 16500. Paaluvälillä 17 500 – 18 000 moduulit olivat heikot molemmissa suunnissa.

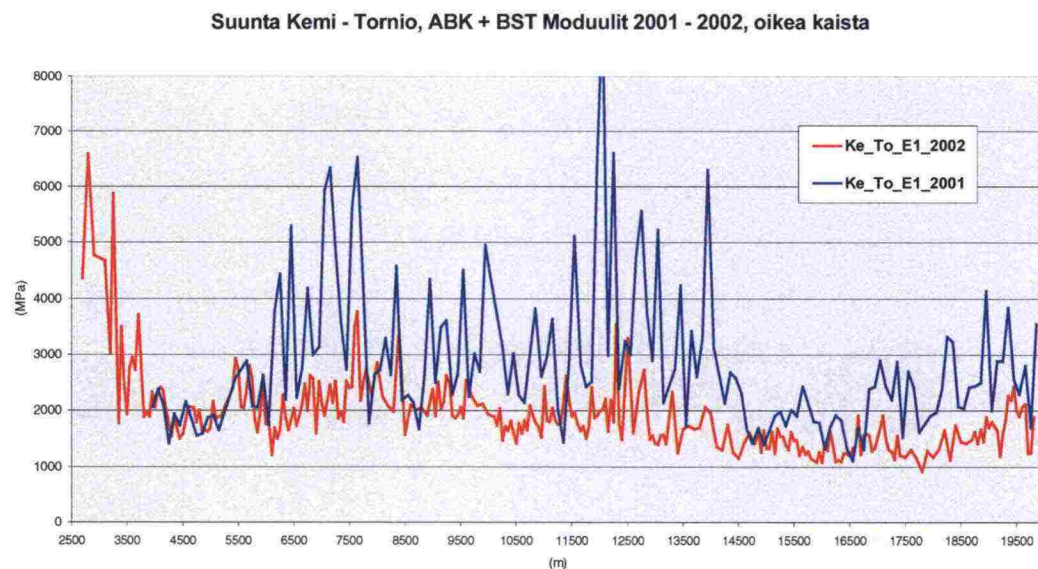
Kuvissa 30 ja 31 on esitetty pp-laitetuloksista lasketut E2 arvot. Hankkeen tavoitekantavuus lopullisen päällysteen päältä oli 420 MPa (pudotuspainolaitteella mitattuna E2 min lopullisen päällysteen on 485 MPa suuruusluokkaa, Rakenteen parantamisen laadunvarmistus, Tielaitos 1994). Kuvat osoittavat, että sidottujen kerrosten moduuleiden putoamisella ei ole suurta vaikutusta E2 arvoon, vaan siihen vaikuttavat enemmän alemmat kerrokset ja pohjamaa. Esimerkiksi Keminmaan alueella kalliikohteissa E2 arvot olivat erittäin korkeat vaikka kohteissa tavattiin vaurioita. Alimmat E2 arvot mitattiin pitemmällä jaksolla Tornio –Kemi suunnassa paaluvälillä 3 900 – 6 000 m, 10 100 – 11 000 m, 16 300 – 16 600 m sekä 18 000 – 18400 m. Kemi - Tornion suunnassa alhaisimmat E2 arvot mitattiin mm. paaluväleillä paaluvälillä 5800 – 6550 m ja 13 800 – 16 100 m. Mielenkiintoista oli havaita, että vuoden heikoimmat yhtenäiset päällystemoduulijaksot sijaitsivat samoilla kohdilla, joissa E2 arvot olivat alhaisimmat..



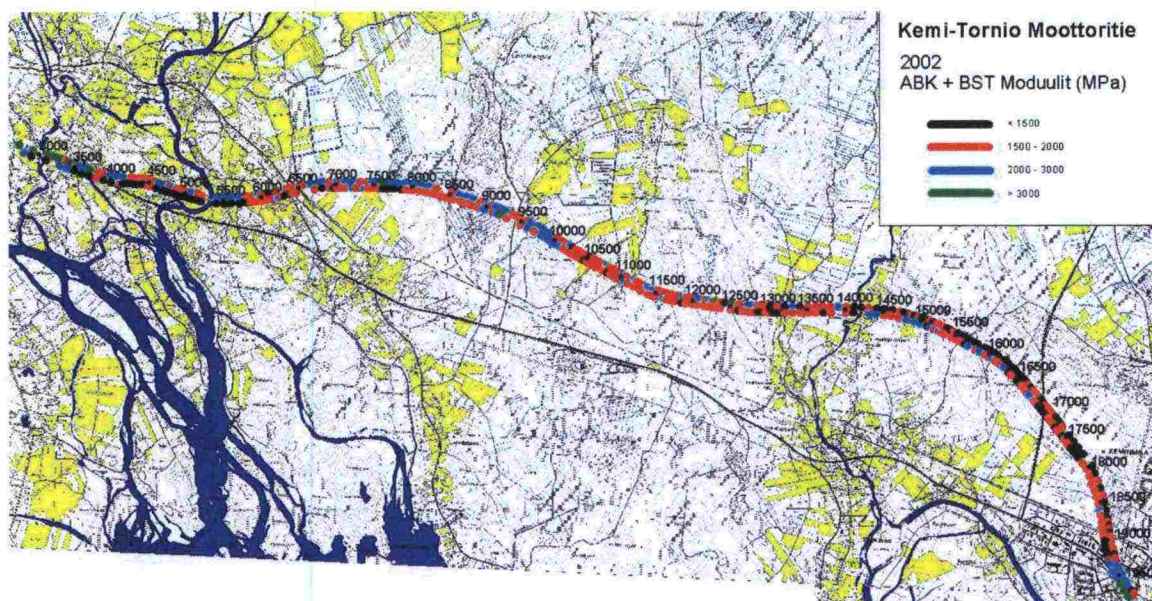
Kuva 26. Maatutkaprofiili suunnalta Kemi – Tornio paaluväliltä 6700 – 7100 (paksu hiekkarakenne 2260 mm). PP-laitemittausten taipumasuppilot vuodelta 2002 (punainen) ovat paikoin pintataipuman osalta huomattavasti suuremmat kuin vuoden 2001 syksyn pp-laitemittausten taipumasuppilot (musta).



Kuva 27. Sidottujen kerrosten moduuliarvot syksyllä 2001 ja kesäkuun lopussa 2002, suunta Tornio - Kemi. Moduuliarvoille ei ole laskettu lämpötilakorjausta.

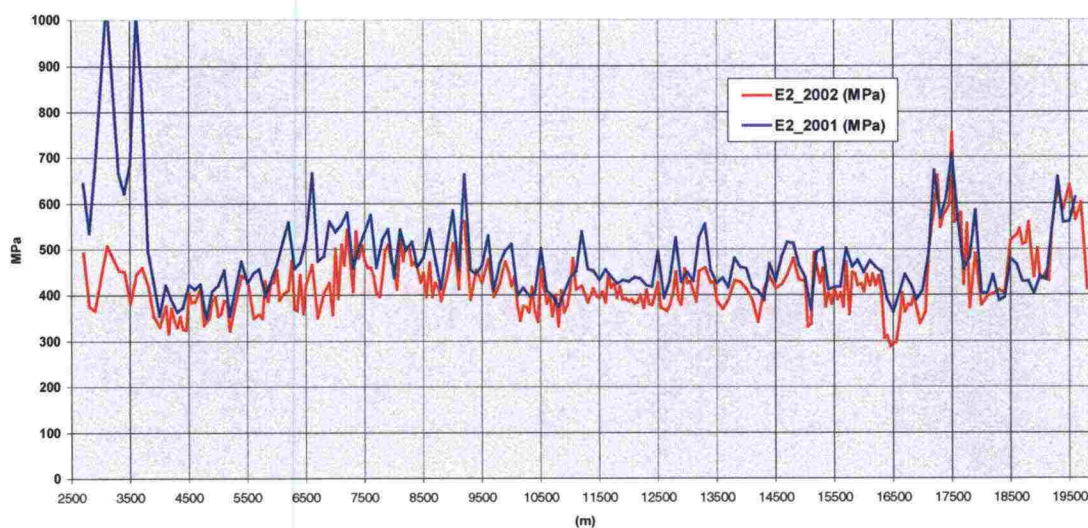


Kuva 28. Sidottujen kerrosten moduuliarvot syksyllä 2001 ja kesäkuun lopussa 2002, suunta Kemi-Tornio. Moduuliarvoille ei ole laskettu lämpötilakorjausta.



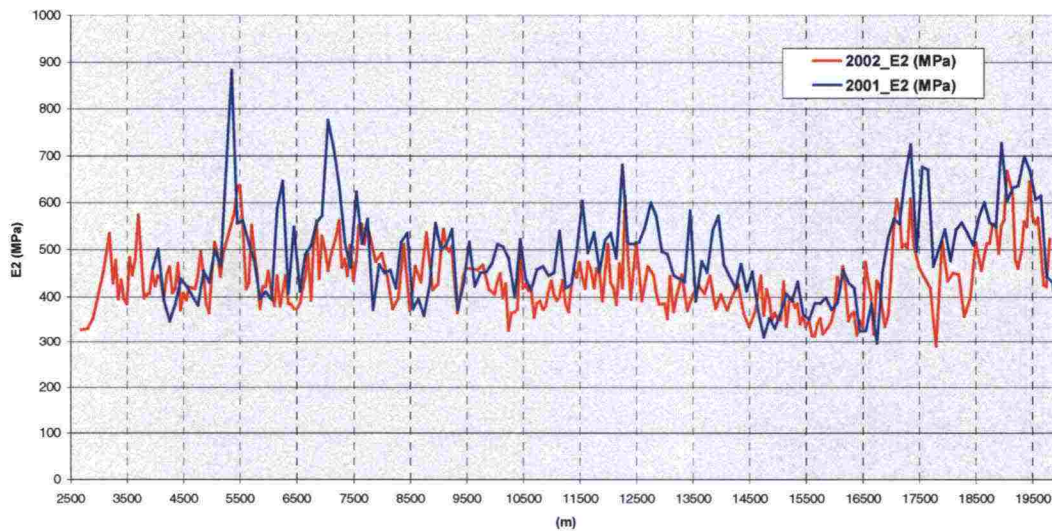
Kuva 29. Sidottujen kerrosten moduulit moottoritillä Kemi-Tornio kesäkuun lopulla 2002. Kuvassa on esitetty molempien suuntien ulompien kaistojen tulokset.

Suunta 1, Tornio - Kemi E2 arvot 2001 ja 2002



Kuva 30. Kantavuusmittausten E2 arvot suunnalta Tornio – Kemi (oikea kaista) syksyllä 2001 ja kesäkuun lopussa 2002.

Suunta 2 Kemi - Tornio oikea kaista E2 arvot 2001 ja 2002



uva 31. Kantavuusmittausten E2 arvot suunnalta Kemi - Tornio (oikea kaista) syksyllä 2001 ja kesäkuun lopussa 2002.

3.8 Routavaaitukset

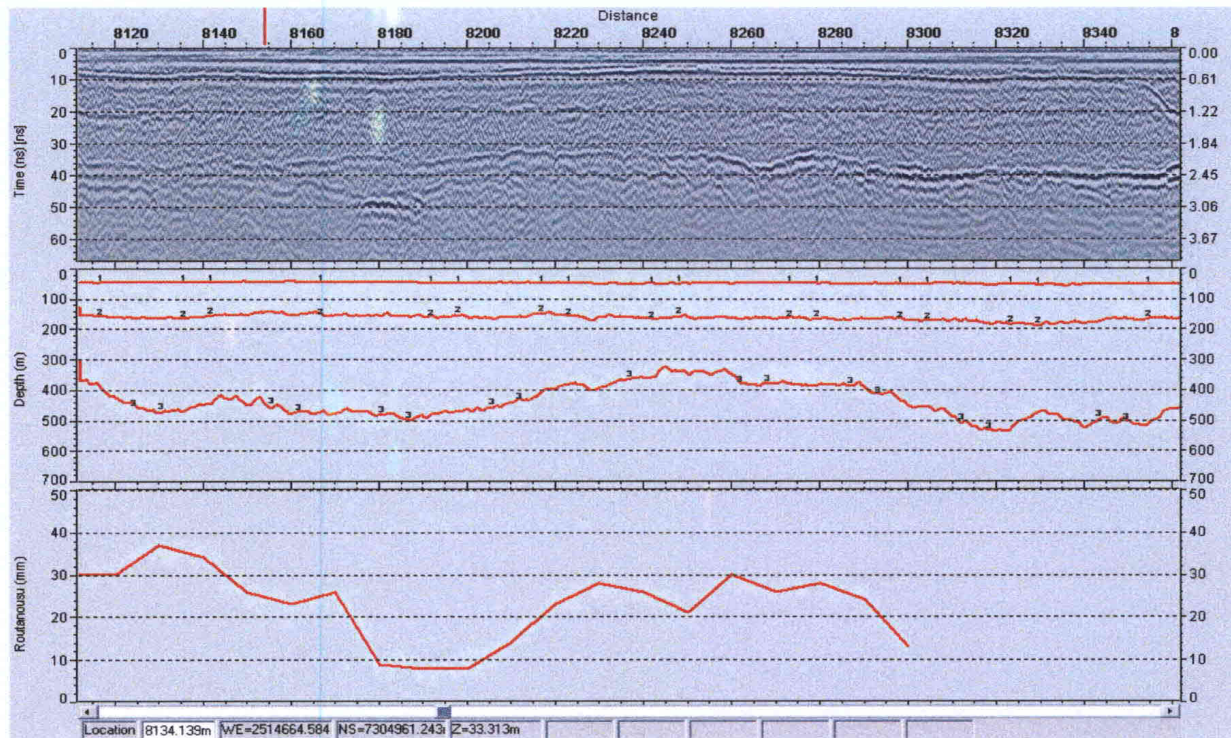
Mahdollisen routanousun määrän selvittämiseksi suoritettiin myös routavaaituksia Tieliikelaitoksen toimesta kuudesta kohteesta. Routavaaituksien talvimittaukset tehtiin tosin vasta 16.3. - 25.3.2002, jolloin tien pinnan suurimmat epätasaisuudet olivat jo tasoittuneet. Kesämittaukset tehtiin 28.05. - 4.6.2002. Mittauksissa mitattiin 200 m:n matkalta pituusleikkaus sekä viisi poikkileikkausta. Etenkin poikkileikkausmittauksissa prisma ei ole sattunut aina samalle kohdalle ja tuloksissa on runsaasti negatiivisia arvoja.

Yhteenveto routavaaitustuloksista on esitetty taulukossa 10. Mittaustulosten mukaan routanousut ovat olleet keskimäärin varsin pieniä. Suurimmat keskimääräiset routanousut mitattiin paaluvälillä 6600 - 6800, jossa hiekkarakenne muuttui Oktorakenteeksi, paaluvälillä 8100 - 8300, jossa rakenne oli paksu hiekkarakenne sekä paaluvälillä 16 600 - 16 800 suunnassa Kemi - Tornio, jossa rakenne oli louherakenne. Yksittäiset maksimiroutanousut olivat hieman yli 50 mm.

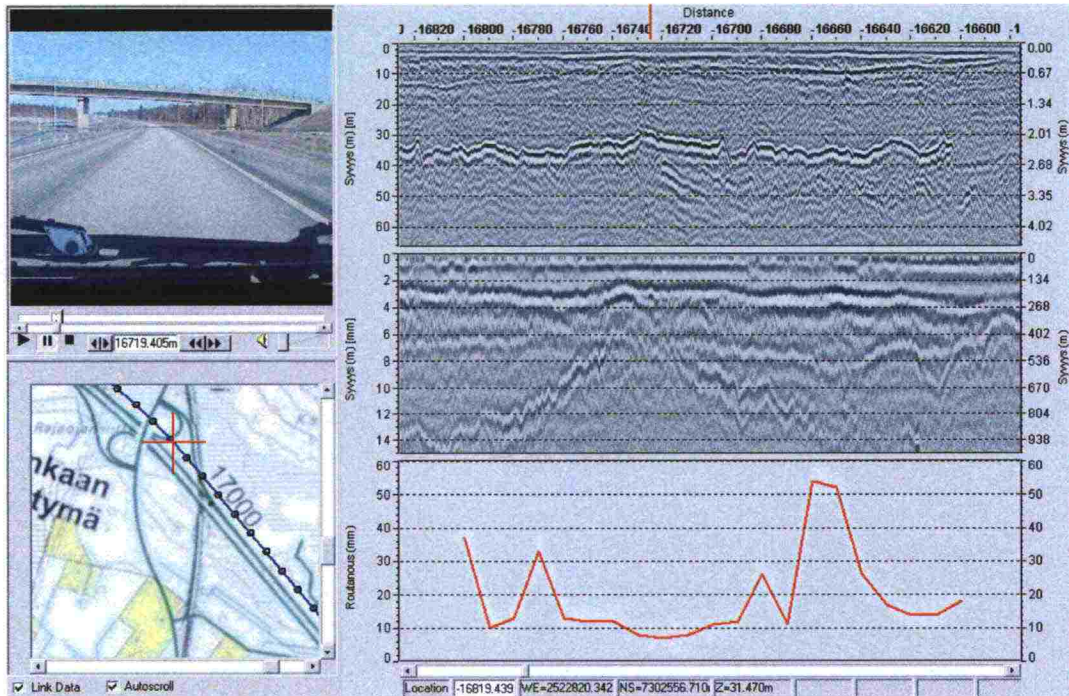
Kuvissa 32 ja 33 on esitetty Road Doctor profiileilla routavaaitusten tulokset yhdessä maatumkatulosten ja muiden mittaustulosten kanssa sekä esitetty kunkin vaurion syitä.

Taulukko 10. Yhteenvedo routavaaitustuloksista

suunta / plv	pituusleikk.			pituus- ja poikkileikk. yht		
	ka	minimi	maks	ka	minimi	maksimi
ke-to 6600 – 6800	0.011	-0.001	0.036	0.006	-0.036	0.040
to-ke 8100 – 8300	0.023	0.008	0.037	0.022	-0.002	0.053
to-ke 11000 - 11200	0.003	0.002	0.014	0.003	-0.034	0.025
ke-to 16600 - 16800	0.019	0.007	0.054	0.016	-0.021	0.054
to-ke 17100 - 17300	0.004	-0.003	0.020	-0.003	-0.024	0.020
ke-to 19000 - 19200	0.005	-0.001	0.018	0.006	-0.013	0.025



Kuva 32. Road Doctor profiili suunnalta Tornio – Kemi plv 8100 – 8850. Kuvassa on esitetty talvella mitattu maatutkaprofiili, jossa näkyy routaraja noin 2,4 m:n syvyydellä. Kuvan keskellä on päällysrakenteen yläosan tulkinta, jossa on esitetty ABK (ylin) BST (keskellä) ja jakavan kerroksen (alin) syvyydet. Routanousun määrä näyttäisi korreloivan tässä kohteessa negatiivisesti jakavan kerroksen paksuuden kanssa, mikä viittaa siihen että jakavan alapuolinen materiaali olisi lievästi routivaa.



Kuva 33. Road Doctor profiili routanousutestikohteesta 16 600 – 16 800. Routanousun syynä on todennäköisesti jakavan kerroksen alla ”kummitteleva” vanha Rovaniemen tie ja sen aiheuttamat siirtymärakenteet. Nämä näkyvät parhaiten keskellä olevasta 1.0 GHz:n maatumkatadatasta.

3.9 Muut tutkimukset

Tutkimusten yhteydessä analysoitiin myös vuonna 2001 Tieliikelaitoksen maatumkakalustolla Skanska Asfaltti Oy:lle tekemien ABK:n tyhjätilamittausten tulokset. Yhteenvedo mittaustuloksista on esitetty taulukossa 11. ABK tyhjätilan vaatimusrajat tässä työssä olivat < 8 % yksittäisille näytteille ja < 7 % keskiarvolle. Mitatut tyhjätilat olivat keskimäärin huomattavasti alhaisemmat, kun vuoden 2002 poranäytteistä mitatut tyhjätilat (ka 6,5 %).

Taulukko 11. Laadunvalvontamittaustulokset ABK päällysteeltä syksyltä 2001.

Kohteen tiedot		tyhjätila (%)		ylitys (m)	ylitys -%
		ka	khaj		
Tornio – Kemi	oik ajorata	3.6	0.9	19	0.1
Tornio – Kemi	vas ajorata	3.0	0.8	0	0.0
Kemi – Tornio	oik ajorata	4.8	1.0	229	1.5
Kemi – Tornio	vas ajorata	4.7	2.0	268	1.7
yhteensä		4.0	1.3	515	0.8

4 VAURIOIDEN SYYT

4.1 Yleistä, vertailua muihin vauriokohteisiin

Nyt tehdyssä selvityksessä saatiin heti alusta alkaen selkeitä viitteitä siitä, että vaurioiden syynä saattaisi olla runsas liukkauden torjuntaan käytetyn suolan käyttö. Tämä siksi, että tien oireet olivat hyvin paljon samankaltaisia kuin Ruotsissa Region Mitt piirissä E4 vid Höga Kusten bron hankkeessa tapahtuneet vauriot, jonka tutkimuksissa Roadscanners oli osittain mukana ja jotka osoittautuivat suolan aiheuttamiksi (Höpeda 1999a ja 1999b).

Myös E4 Höga Kusten tiellä epätasaisuus oli aluksi suurta, mutta pieneni huomattavasti myöhemmin talvella. Esimerkiksi IRI arvot olivat 21.01.1999 mittauksissa keskimäärin 3,0 mm/m ja tiellä oli pitempiä jaksoja, jossa IRI arvot olivat yli 4 mm/m, mutta 08.04.1999 tehdyissä mittauksissa keskimääräiset IRI arvot olivat vain 1,5 mm/m. Vastaavasti ura-arvot olivat tammikuun mittauksissa keskimäärin 6,5 mm, mutta huhtikuussa ne olivat pudonneet keskimäärin 4,3 – 4,4 mm:iin (Höpeda 1999a). Kemi – Tornio moottoritillä IRI arvojen erot olivat pienemmät (ks. taulukko 3), mutta se selittyy sillä, että täällä sidottujen kerrosten kokonaispaksuus oli suurempi kuin Ruotsissa ja samaten harjanteet eivät olleet niin teräviä kuin Ruotsissa (kuva 34).



Kuva 34. Epätasaisia kohoumia talvella 1998 E4 vid Höga Kusten Bro tiellä Ruotsissa (kuva Höpeda 1999a).

Myös poranäytteiden tulokset olivat samankaltaisia. Epätasaisen harjanteen päältä E4 vid Höga Kusten tieltä sidotusta kantavasta otettujen näytteiden vesipitoisuudet olivat 4,2 % kun harjanteiden välistä otettujen näytteiden vesipitoisuudet olivat 2,6 % ja vaurioitumattomalla jaksolla 1,9 %. Kemi – Tornio näytteissä sidottujen kerrosten vesipitoisuus oli keskimäärin 4,6 % ja maksimissaan jopa 6,5 %. Harjanteelta otetuissa näytteissä myös suolapitoisuudet olivat selkeästi suuremmat kuin harjanteiden välissä tai referenssinäytteissä. Eri analyysimenetelmistä johtuen suolapitoisuuksia ei voi kuitenkaan suoraan verrata keskenään. Sideaineen irtoamista kiviaineksesta (stripping) tavattiin myös Ruotsissa, vaikkakaan se ei ollut niin pahaa kuin Kemi – Tornio näytteissä. Kuvassa 35 näkyy stripping erittäin selkeästi poranäytteessä.



Kuva 35. Poranäyte paalulta 15 768. Välillä 45 – 80 mm voidaan nähdä sideaineen alkavaa irtoamista kivirakeista. Näytteen vesipitoisuus oli 4,1 %.

E4 Vid Höga Kusten ongelmat aiheutti selvästi tien avajaisvaiheessa käytetty runsas suolaus, jolla tiestä pyrittiin saamaan sula ja turvallinen. Vastaavasti Kemi – Tornio moottoritien kunnossapitotilastot tukevat myös teoriaa liukkaudentorjuntaan käytetyn suolan aiheuttamista ongelmista. Niiden mukaan talvella 2001 – 2002 suolan kokonaiskäyttö tiellä oli 440 tn, mikä merkitsee sitä että neliometriä kohden tielle on levitetty suolaa n. 1,8 kg. Tilastojen mukaan suolauskertoja talvella oli kaikkiaan 94. Suolaa on käytetty tiellä hyvin paljon tavanomaista runsaammin. Esimerkiksi Roadex projektin tekemän tilastoinnin mukaan suolatuilla tieosilla Lapissa on käytetty suolaa keskimäärin 3,8 tn/kaistakm kun Kemi – Tornio moottoritien vastaava luku on noin 13 tn/kaistakm.

Suolan käytön aiheuttamia ongelmia on raportoitu myös mm. Kanadasta, jossa suolan pääsy tierakenteisiin aiheuttaa ongelmia ennenkaikkea alueilla, missä esiintyy poikkihalkeamia (Doré et al. 1997).

Se, että nousseet suolapitoisuudet myös jakavassa kerroksessa johtuvat liukkaudentorjuntaan käytetystä suolauksesta, eivätkä vauriot ole syntyneet pölynsidonnassa käytetystä suolauksesta (Ylitalo ja Saarenketo 1997) voidaan nähdä Percosondien alhaisista sähkönjohtokykyarvoista. Näin alhaiset arvot (ks. taulukko) osoittivat, että ainakaan syksyllä 2001 näissä kohteissa ei oltu käytetty suolaa.

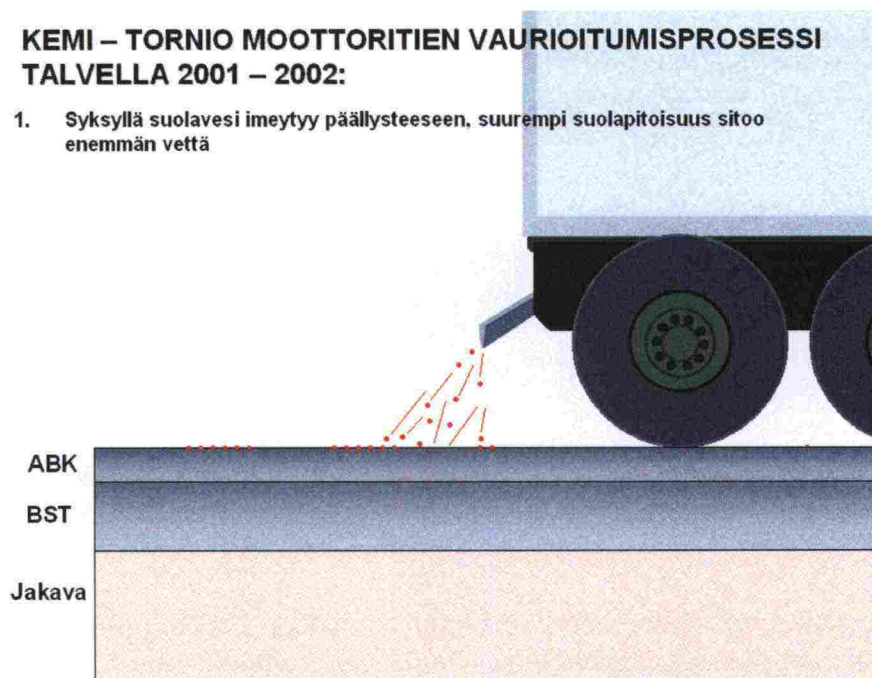
Suolan käytön lisäksi ilman lämpötilavaihteluilla on ollut suuri merkitys vaurioiden syntyyn. Liittessä 4 on esitetty talven lämpötilat joukuussa 2001 – maaliskuussa 2002. Tien epätasaisuus alkoi ilmetä ensimmäisen kerran kun lämpötilat voimakkaasti putosivat joulukuussa 2001. Samanlaisia havaintoja on saatu Kanadasta, jossa on myös todettu epätasaisuuden syntyvän voimakkaiden pakkasten saapuessa (Guy Doré, suullinen tiedonanto 2002). Tämän jälkeen yhtä kylmiä jaksoja ei juuri esiintynyt ja tien tasaisuus parantui koska vesipitoisuus tasaantui osmoottisten voimien vuoksi.

4.2 Suolan aiheuttama vaurioprosessi

Seuraavassa on kuvasarjan avulla pyritty kuvaamaan sitä prosessia, joka aiheutti Kemi – Tornio moottoritien epätasaisuudet pakkasten alettua syksyllä 2001 ja joka aiheutti myös sidottujen kerrosten vaurioitumisen ja moduulien putoamisen sekä paikoin pituushalkeamien synnyn.

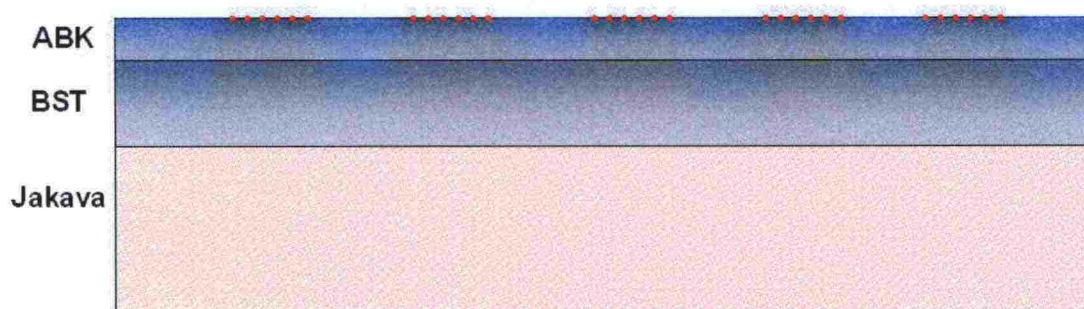
KEMI – TORNIO MOOTTORITIEEN VAURIOITUMISPROSESSI TALVELLA 2001 – 2002:

1. Syksyllä suolavesi imeytyy päällysteeseen, suurempi suolapitoisuus sitoo enemmän vettä



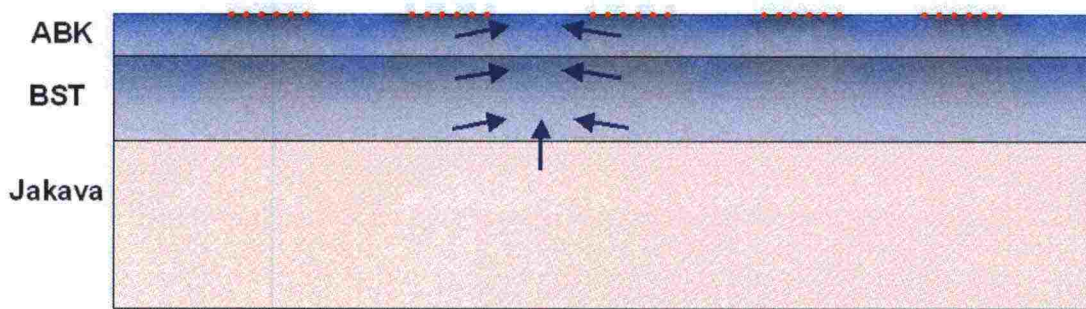
Kuva 36. Vaurioituminen lähtee liikkeelle kun syksyllä ensimmäisten pakkasöiden jälkeen suolattiin uutta päällystettä ensimmäisiä kertoja. Suola ei jakaudu päällysteeseen täysin tasaisesti ja osmoottisten voimien vuoksi suola imeytyy alla olevaan ABK ja BST kerrokseen, joiden suolapitoisuus myös on epätasainen. Eniten suolavettä imeytyy kohtiin, joissa ABK:n tyhjätila on suurin.

2. Epätasaisen suolan jakauman takia tie jäätyy epätasaisesti siten, että pienemmän suolapitoisuuden omaava osa jäätyy ensiksi →



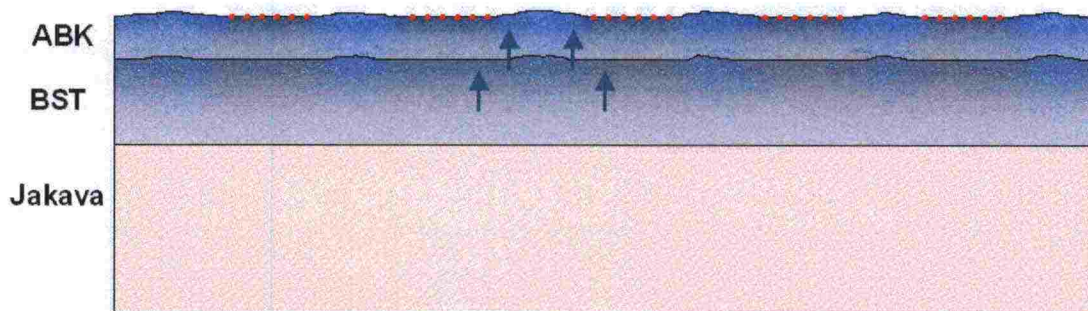
Kuva 37. Seuraavassa vaiheessa yhtenäisten pakkasten jatkuessa aluksi jäätyvät ne osat päällysteestä, joissa suolapitoisuus on pienin ja vesipitoisuus alhaisin. Tämä kriittinen jäätyminen näytteisi tapahtuneen noin 40 – 70 mm:n syvyydellä.

3. Syntyy kryoimpupainetta, joka imee vettä alta sekä suolapitoisimmilta osuuksilta
→



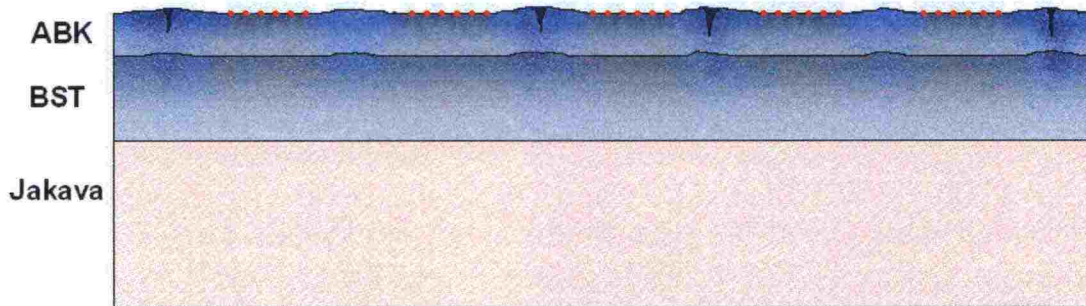
Kuva 38. Jäätymisen jälkeen näihin kohtiin syntyy kryoimpupainetta, joka on huomattavasti osmoottista imupainetta voimakkaampaa ja tästä johtuen vettä alkaa imeytyä ympäristöstä jäätymisrintamaan.

4. Segregaatiojäää syntyy, joka aiheuttaa routanousua ja siten rakenteen epätasaisuutta sekä rikkoo sidotut kerrokset. Pyöräurien kohdalla segregaatiojään syntyminen on dynaamisen kuormituksen vuoksi pienempää



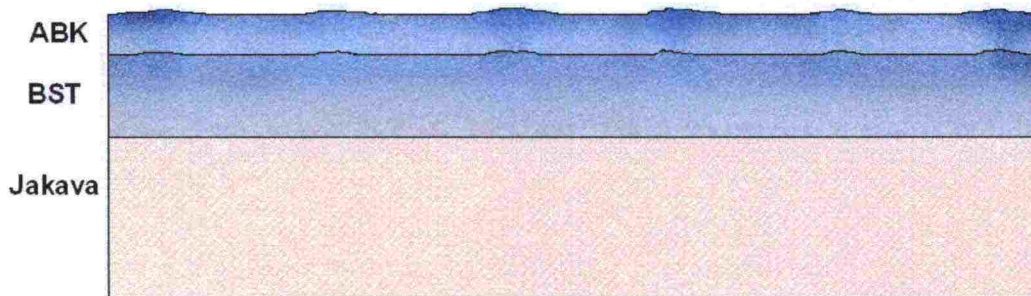
Kuva 39. Jäätymisrintamassa syntyy segregaatiojäää, joka aiheuttaa päällysteen kohoamista ja epätasaisuutta, joka tuntuu autoilijalle epämiellyttävänä lyhytaaltoisena tärinänä. Liikenteen vaikutuksesta segregaatiojään muodostuminen ja routanousu on pienempää pyöräurien kohdalla, mikä näkyy tien pinnan urautumisena. Segregaatiojää rikkoo myös sidottujen kerroksien bitumi-kiviainessidoksia.

5. Sidotut kerrokset halkeavat, jolloin ne sitovat lisää suolavettä



Kuva 40. Segregaatiojään aiheuttamien kohoumien pinnalle syntyy vetojännitystä, joka aiheuttaa mikro- ja makrohalkeamia. Näiden halkeamien kautta päällysteen sisälle pääsee lisää suolapitoista vettä.

6. Kun koko rakenne jäätyy, tasoittuu routanousuerot osmoottisten voimien vuoksi



Kuva 41. Pakkasten jatkuessa ja lämpötilan edelleen aletessa myös aluksi jäätyvät osuudet jäätyvät ja alkavat nyt imeä vielä jäätymätöntä vettä ympäristöstään, joka aiheuttaa myös routanousua. Lisäksi osmoottisten voimien vuoksi suolapitoisuudet pyrkivät tasoittumaan, mikä puolestaan myös tasoittaa routanousua ja päällyste tulee tasaisemmaksi.

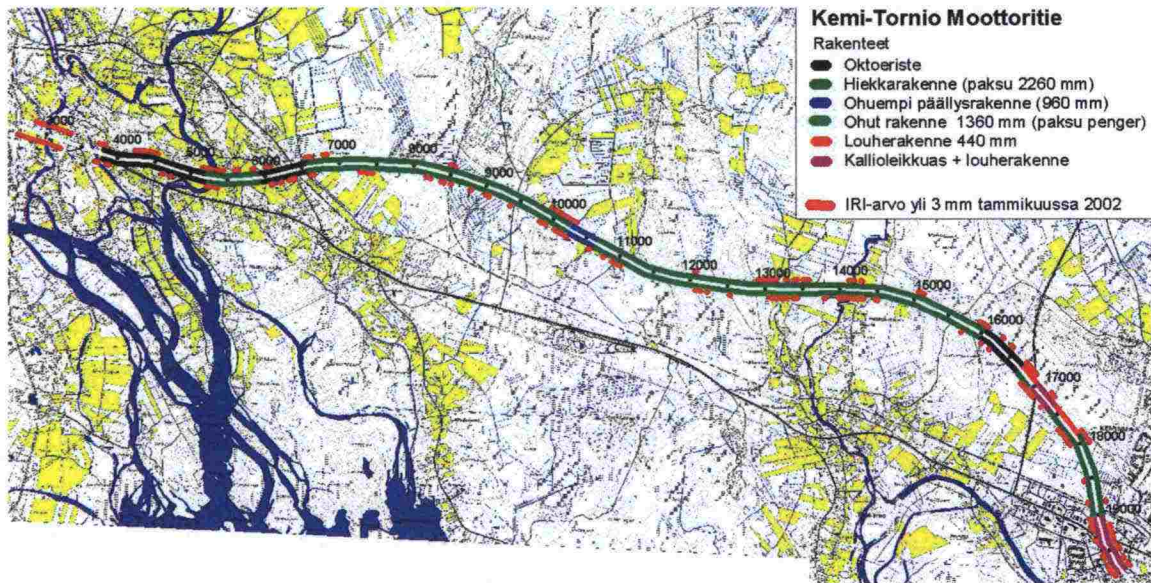
4.3 Muut vauriot

Kuten edellä tutkimustulosten esittelyssä on jo todettu, kaikki tiessä havaitut epätasaisuudet eivät aiheutuneet suolan käytöstä vaan epätasaisuuteen löytyy myös muita syitä. Kuvan 42 GIS kartassa on esitetty tien rakenteet sekä maaliskuussa 2002 mitattujen yli 3.0 IRI arvojen sijainti. Kuvasta voidaan havaita, että useassa paikassa korkeaa epätasaisuutta tavattiin molemmilla suunnilla samoilla kohdilla, jolloin epätasaisuuden syyt löytyvät syvemmältä tierakenteesta ja pohjamaasta. Kartan perusteella Kari Hietala on laatinut seuraavan listan vauriokohdista, joihin voidaan löytää selkeä rakenteellinen syy.

1. pl 3 000 : Kallioputaan ja Vuotinputaan siltapaikat; korkeiden penkereiden aiheuttamaa perusmaan jälkipainumaa, nauhapystyöjitettu pehmeikkö
2. pl 5 000: Raumojoen silta, korkeiden tulopenkereiden aiheuttamaa perusmaan jälkipainumaa, pehmeikköä, penkereet esikuormitettu
3. pl 10 000: Täytetty Ruonaojan vanha uoma, paksun täytön ja perusmaan jälkipainumaa
4. pl 13 000: Tieksojoen siltapaikka; korkeiden penkereiden aiheuttamaa perusmaan jälkipainumaa, nauhapystyöjitettu pehmeikkö, jossa rakennusaikan suuria vaikeuksia (mm. liukusortumaa)
5. pl 17 000: Vanha Rovaniemen tie alla; kummittelee, koska vanhan tien kohdalla perusmaa tiivistynyt, ympärillä neitseellinen, pehmeä perusmaa
6. pl 18 000: Metsälän alikulkusilta; korkeiden penkereiden ja perusmaan jälkipainumaa, alueella pohjaveden alenema

Toisaalta suurimmassa osassa edellä mainituista kohteista IRI arvot putosivat selvästi kesäksi 2002 (vrt. kuvat 11 ja 12), jolloin näiden kohtien epätasaisuus on ollut sekä yllä mainittujen painumien että suolan aiheuttaman epätasaisuuden summa.

Muita yksittäisiä epätasaisia kohteita ovat olleet muutama selkeä routaheittokohde, jotka sijaitsevat pääasiassa erilaisissa siirtymärakenteissa (kuva 43).



Kuva 42. Maaliskuussa 2002 mitattujen epätasaisten kohtien sijainti suhteessa tien rakenteisiin.



Kuva 43. Routaheitto paalulla 11 700 suunnassa Kemi - Tornio. Heitto sijoittuu leikkauksen ja penkereen siirtymäkiilan kohdalle ja se syntyi vasta myöhään kevättalvella, jolloin routa oli edennyt syvälle pohjamaahan.

5 YHTEENVETO JA KORJAUSTOIMENPIDEVAIHTOEHDOT

Kemi – Tornio moottoritien epätasaisuus kasvoi voimakkaasti joulukuussa 2001 verrattuna syksyn tasoon. Moottoritiellä eri aikoina suoritettujen tasaisuusmittaustulokset osoittivat, että IRI arvot olivat huomattavasti korkeammat kuin syksyn laatumittaukset, mutta toisaalta arvot putosivat selvästi tammikuun 2002 mittaustuloksista (IRI ka 2.23 Tornio – Kemi oikea kaista ja 2.51 Kemi – Tornio vastaava kaista) huhtikuuhun, jolloin vastaavat mittaustulokset olivat 1.35 (Tornio – Kemi) ja 1.52 (Kemi – Tornio). Selkeästi epätasaisin osuus tiellä löytyi molemmilta kaistoilta Tornion päästä. Laurilan kohdalla tie oli epätasainen etenkin suunnassa Kemi – Tornio.

Vaikka uramittauksia tehtiin vain kerran Road Master kalustolla ja kerran PTM autolla, osoittivat tulokset, että myös tien poikkileikkauksessa tapahtui talven aikana muutoksia. Samaa osoittivat myös poikkileikkauksista tehdyt routavaaitukset. Keskimäärin mitatut routanousut olivat tiellä yleensä vain 5 – 15 mm. Joissakin kohdissa mitatut 40 – 60 mm nousut liittyivät lieviin rakenteellisiin puutteisiin. Tosin routavaaitusten talvimittaukset tehtiin sen jälkeen kun tie oli jo selvästi tasoittunut.

Timanttikairalla talvella tehty näytteenotto osoitti, että sekä stabiloidun BST kerroksen että ABK kerroksen kerrospaksuudet olivat suunnitellun mukaisia. Maatutkatulokset osoittivat, että jakavan kerroksen paksuudet vaihtelivat paikoin.

Näytteistä tehdyt kloridianalyysit osoittivat, että kloridien määrä oli selvästi noussut sekä ABK, BST että jakavassa kerroksessa. ABK keskimääräiset kloridipitoisuudet olivat 122 mg/kg (min 52 ja max 230 mg/kg) ja suurimmat kloridipitoisuudet mitattiin BST näytteistä, joissa pitoisuuksien keskiarvo oli 750 mg/kg (min 65 ja max 2100 mg/kg). Sitomattoman jakavan kerroksen kloridipitoisuudet olivat nousseet kohdissa missä sidottujen kerrosten suolapitoisuudet olivat suuret (max 480 mg/kg), mutta ehjien näytteiden alla ei tavattu merkittäviä kloridipitoisuuksia. Sidottujen näytteiden vesipitoisuus talvella oli keskimäärin 4,6 % (min 3,0 %, max 6,5 %), mikä on erittäin korkea arvo bitumilla sidotuille kerroksille. Korkean kloridi- ja vesipitoisuuden omaavat näytteet olivat myös rikkoutuneet 40 – 70 mm:n syvyydeltä.

Syksyllä 2001 tehtyjen laadunvalvontamittausten mukaan ABK näytteiden tyhjättila oli keskimäärin 4.0 % (kh 1.3 %), mutta talvella analysoitujen ABK näytteiden tyhjättila oli keskimäärin 6.5 % (min 5,3 ja max 7,7 %), mikä osoitti tyhjättilan selvästi nousseen talven aikana. BST kerroksen keskimääräinen tyhjättila oli 14,9 %. BST:stä ei ollut saatavilla rakentamisen aikaisia tuloksia. Näytteiden keskimääräiset bitumipitoisuudet olivat 4.69 % ABK:lla ja 3,27 % BST:llä, mitkä olivat vaatimusten mukaisia. BST:n suunnittelussa ei TS-testiä uusittu sen jälkeen, kun kuonahiekan lisäyksestä päätettiin. Kuonahiekka sitoo bitumia ja hiekan lisäämisen jälkeen vedenimeytymisominaisuudet ovat voineet heiketä. Vaikka kuonahiekka ei todennäköisesti aiheuttanut ongelmia, tulisi TS-testit aina uusia, jos suhteutusta päätetään muuttaa.

Jakavan kerroksen rakeisuusnäytteiden hienoainespitoisuus oli keskimäärin 6,9 %, mikä osoittaa näytteiden olleen lievästi routivia. Kohonnutta hienoainespitoisuutta voidaan selittää osin myös sillä, että timanttikorauksen aikana näyte voi hieman hienontua. Toisaalta myös tiehen asennetut dielektrisyysanturit, joiden avulla mitattiin jakavan kerroksen kosteutta osoittivat, että Luukkaankankaan ja Kyläjoen alueelle asennetuissa antureissa dielektrisyysarvot olivat hieman kohonneet ja anturit osoittivat myös että talvella materiaalissa esiintyi jäätymätöntä vettä. Näiden antureiden kohdalla jakavan kerroksen murske oli tehty Laivakankaan kiviaineksesta. Muissa kolmessa anturissa Er arvot olivat alhaisia. Toisaalta tien sivusta autokairalla otetuista näytteistä tehdyt rakeisuudet osoittivat pienempiä hienoainespitoisuuksia.

Pudotuspainolaitteella mitatut sidottujen kerrosten moduularvot olivat selvästi pudonneet verrattuna syksyn 2001 laadunvalvontamittauksien tuloksiin. Esimerkiksi oikealla ajoradalla suunnalla Kemi – Tornio sidottujen moduulit olivat vuonna 2001 keskimäärin 2860 MPa ja kesäkuussa 2002 vastaavat moduularvot olivat keskimäärin vain 1930 MPa, vaikka niiden olisi tullut selvästi kasvaa. Heikoimmilla jaksoilla moduularvot vaihtelivat 1000 MPa:n molemmin puolin. Kesäkuun 2002 mittaukset osoittavat, etteivät talvella syntyneet mikrohalkeamat ole liimautuneet kiinni ja moduularvot jäänevät pysyvästi alhaisiksi. Yllättävää oli se, että myös Tornion päässä AB / ABK rakenteen moduularvot olivat selvästi romahtaneet.

Edellä esitetyt tulokset viittaavat selkeästi siihen, että Kemi – Tornion moottoritien alkutalven 2001-2002 epätasaisuuden aiheuttavat ongelmat liittyvät liialliseen tiesuolan käyttöön, mikä aiheutti jäätymisvaiheessa jäälinsien muodostumista sidottuun kerrokseen ja kerroksen rikkoutumista. Lisäksi tämä segregatiojään aiheuttama laajeneminen aiheutti paikoin pituushalkeamia. Kunnossapidon tilastojen mukaan talvella 2001 – 2002 suolan kokonaiskäyttö moottoritienellä oli 440 tn, mikä merkitsee että keskimäärin tielle on levitetty suolaa n. 1,8 kg/m². Suolauskertoja talvella oli 94 kpl. Tien ongelmat olivat hyvin samankaltaisia kuin esimerkiksi 1990 luvun lopussa Ruotsissa E4 Högakusten tien liialliseen suolauksen aiheuttaneet ongelmat. Muita Kemi – Tornion moottoritien ongelmia, mutta pienempiä, olivat jakavan kerroksen murskeen hieman kohonneet hienoainespitoisuudet sekä muutamat painumat ja lievät routaheitot, joita tulee seurata ja joihin tulee laatia erillinen korjaussuunnitelma.

Muualta vastaavista kohteista saatujen kokemusten perusteella on todennäköistä, että tie tulee oirehtimaan vielä 1-2 talven ajan vaikka suolausta vähennettäisiinkin. Siksi lisävaurioiden estämiseksi tulisi moottoritie päällystää vielä kuluvana kesänä (2002) tiiviillä ja vettä läpäisemättömällä päällysteellä, joka kestää tulevan talven aikana päällysteessä tapahtuvat muodonmuutokset. Paksu ja jäykkä AB kerros lisääisi kantavuutta, mutta halkeamat tulevat siitä todennäköisesti välittömästi läpi. Siksi suositeltavin päällyste on ohut AB päällyste (esim 50-70 kg/m²), jonka sideaineena käytetään polymerimodifioitua bitumia. Tyhjätilavaatimus tulisi olla maksimissaan 2-3 %. Kiviaineksen maksimiraekoko voi olla 8-10 mm. Kitkan parantamiseksi päällyste voidaan karkeuttaa siroteella. Tämän jälkeen tietä voidaan tarkkailla 1-2 vuotta, jonka jälkeen tielle tehdään lopullinen kulutuskerros.

6 KIRJALLISUUSVIITTEET

Dore, G., Konrad, J-M and Marius, R. 1997. The role of deicing salt in pavement deterioration by frost action. TRB Paper 970598

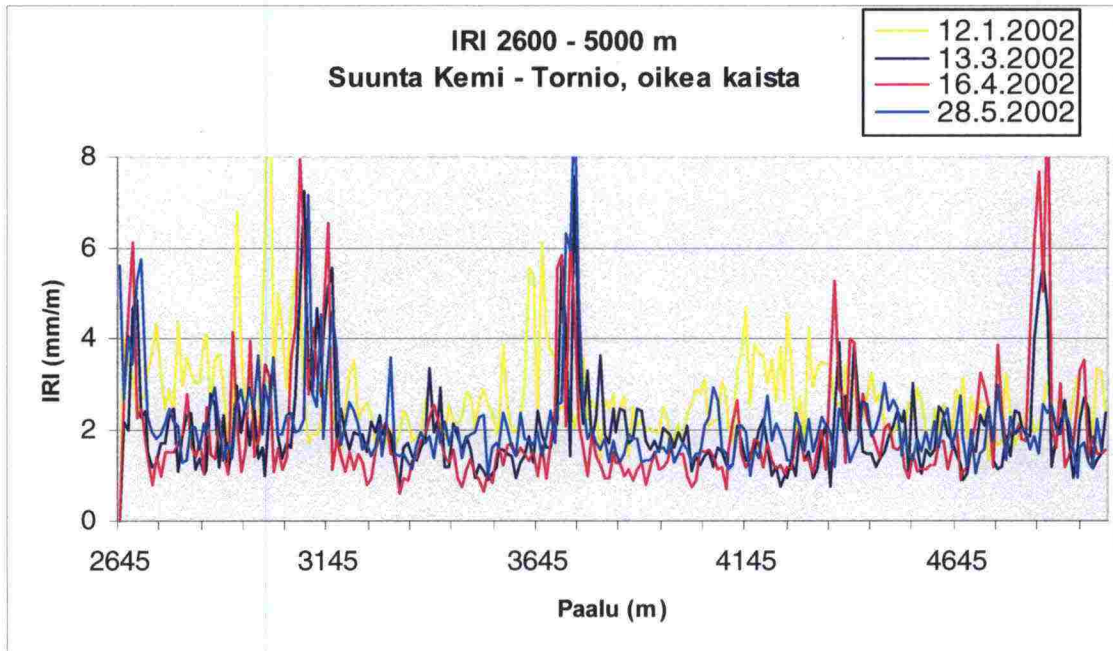
Höpeda, Peet, 1999. Undersökning av ojmäheter och spårbildning på väg E4 vid Höga Kustenbron. Etappredovisning. VTI notat 27 – 1999.

Höpeda, Peet, 1999. Undersökning av ojmäheter och spårbildning på väg E4 vid Höga Kustenbron. Sammanfattning. VTI notat 27s – 1999.

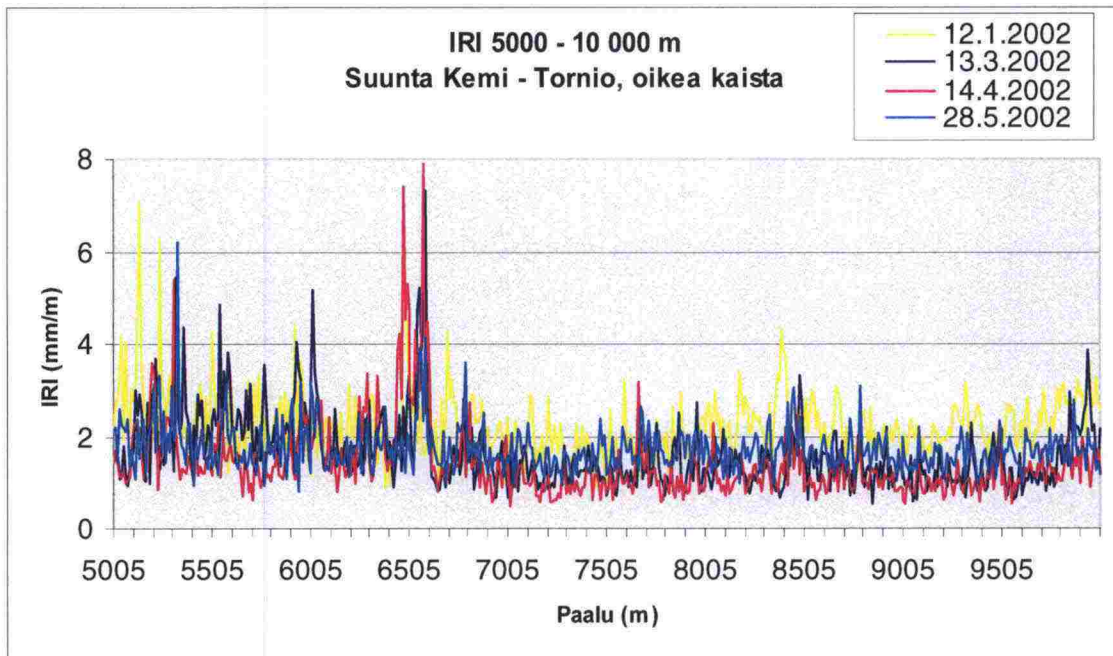
Ylitalo, I. ja Saarenketo, T. 1997. Pt 19593 Ranuan Kirkkotien päällystevauriot. Lapin tiepiiri, MIMA-yksikkö, julkaisematon raportti.

7 LIITTEET

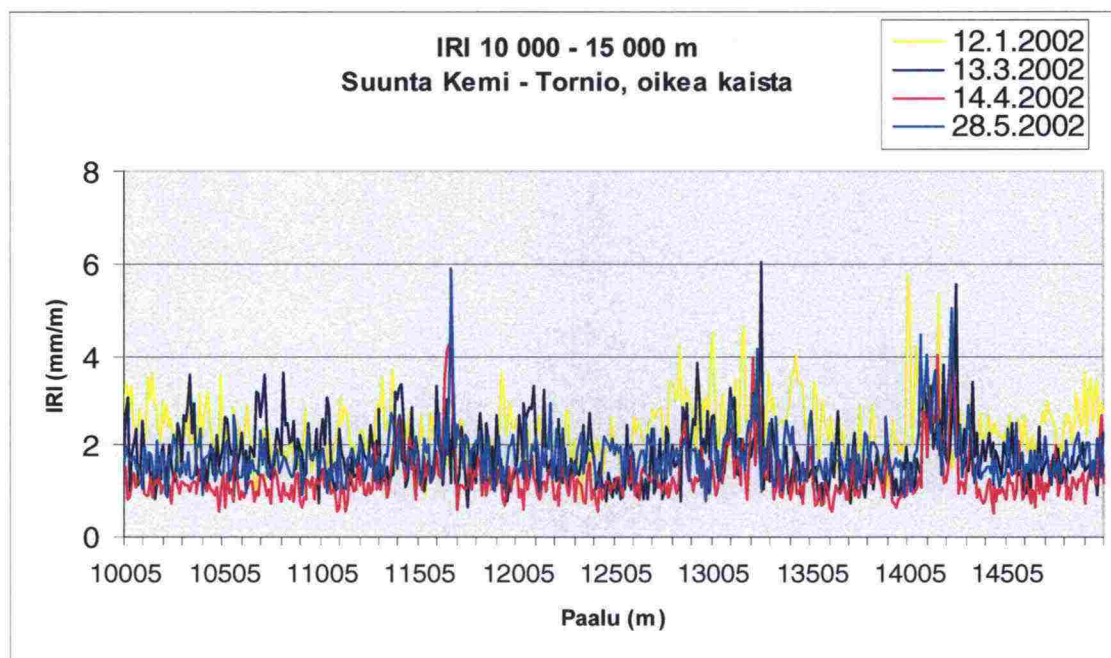
Liite 1



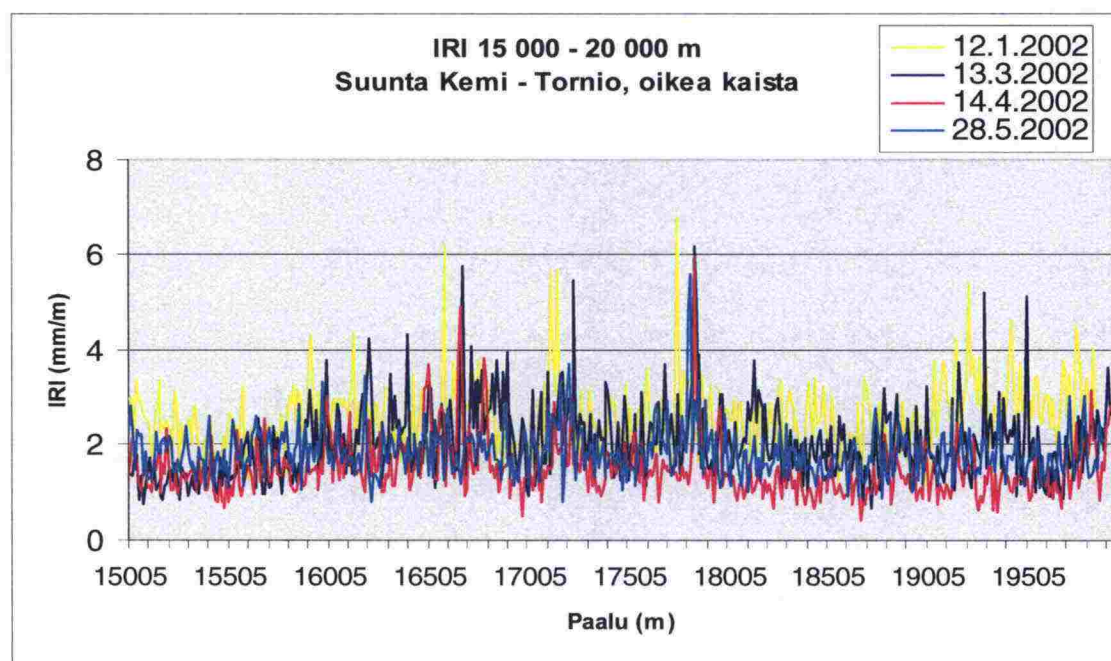
Kuva 1.



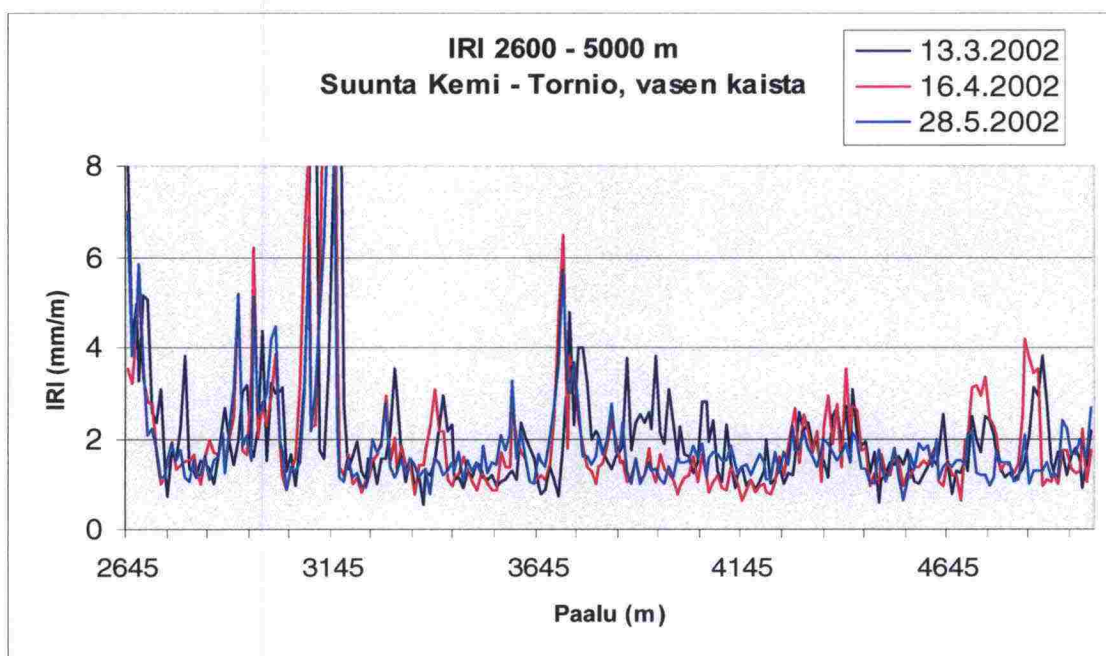
Kuva 2.



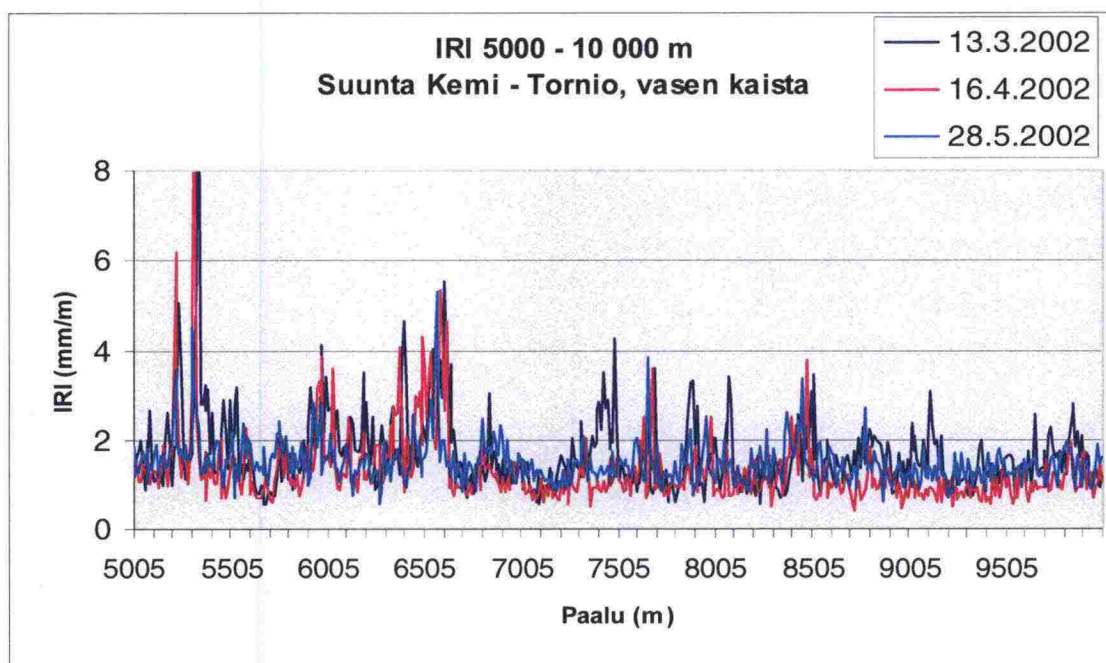
Kuva 3.



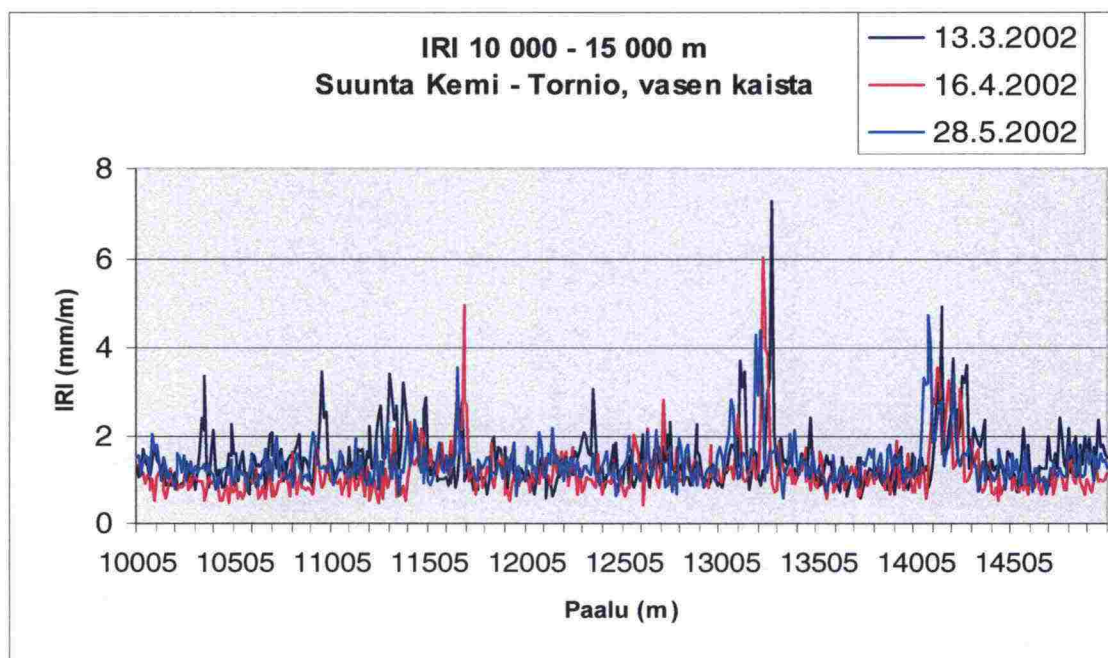
Kuva 4.



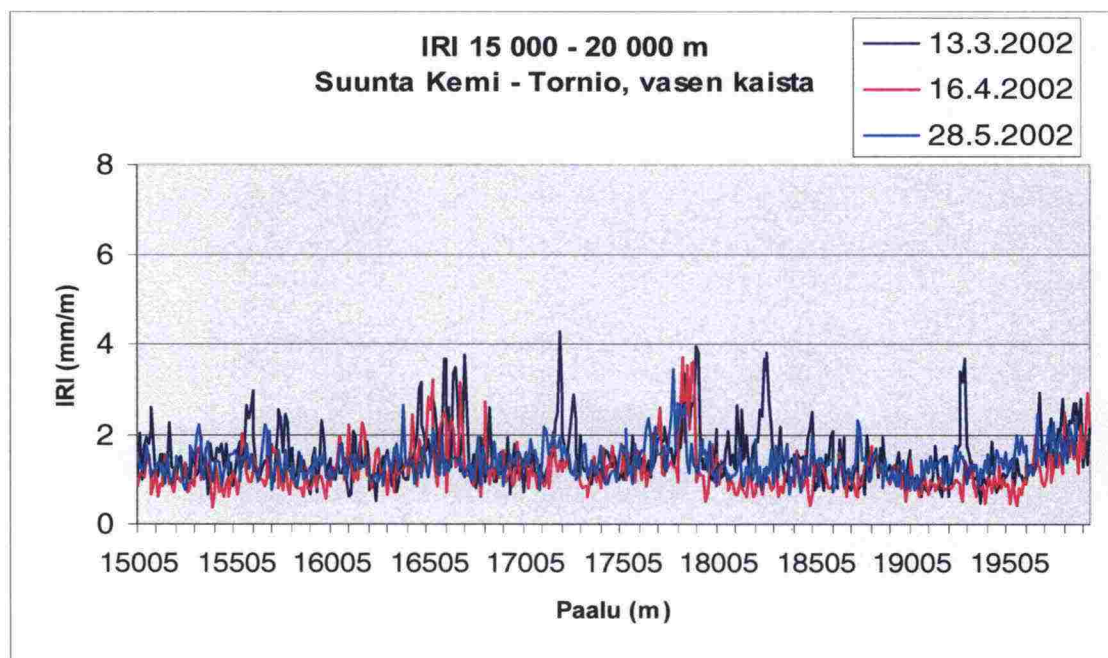
Kuva 5.



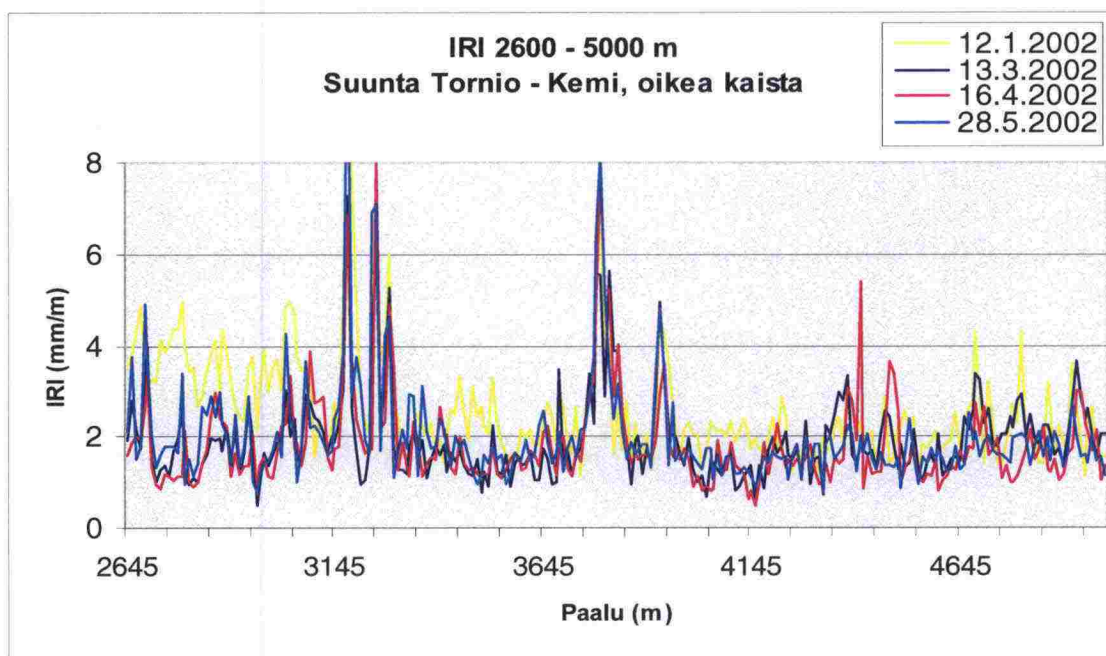
Kuva 6.



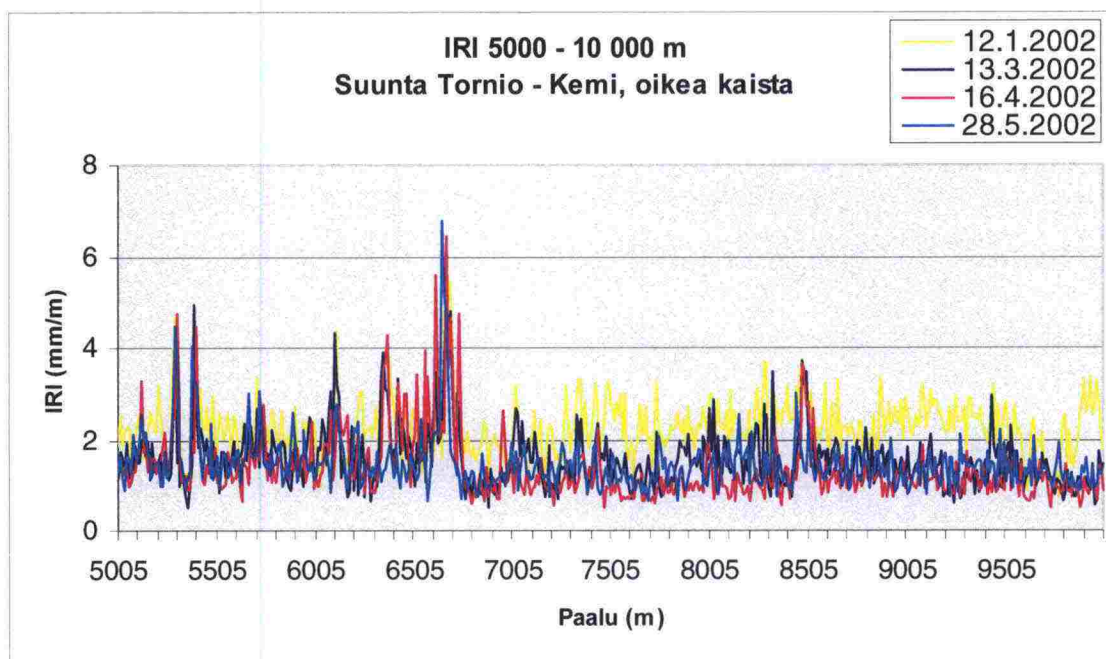
Kuva 7.



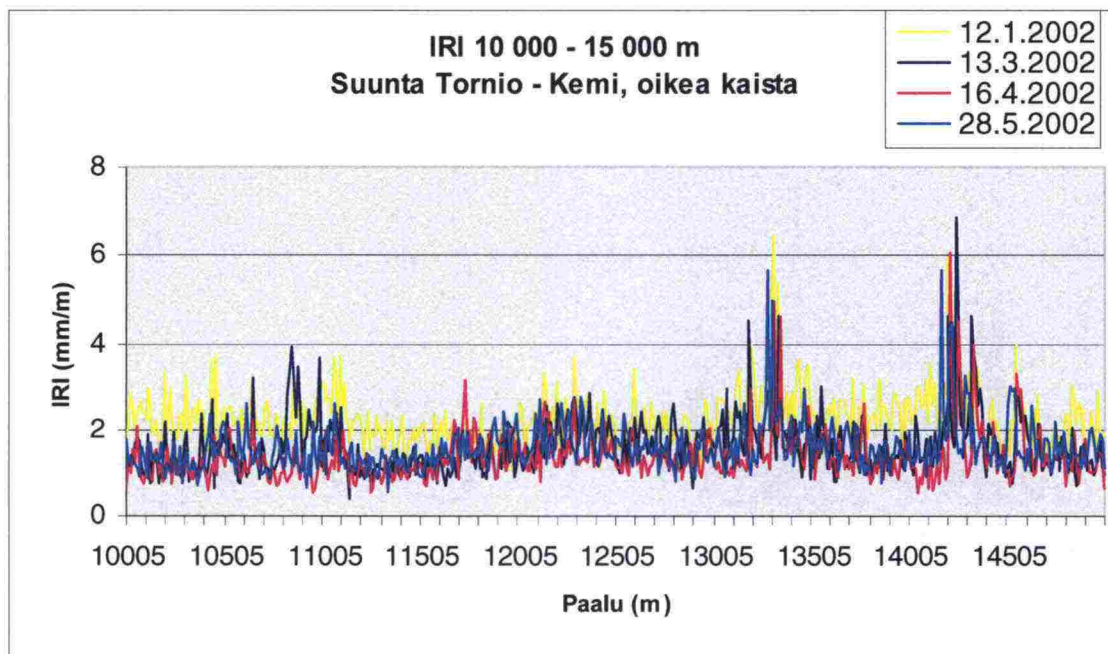
Kuva 8.



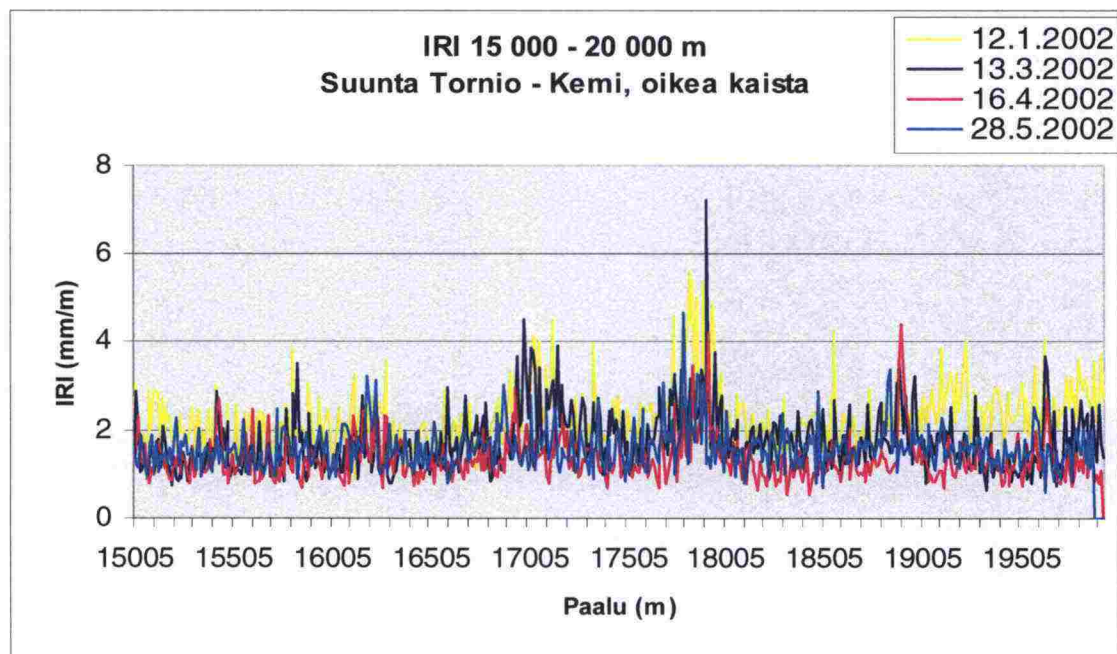
Kuva 9.



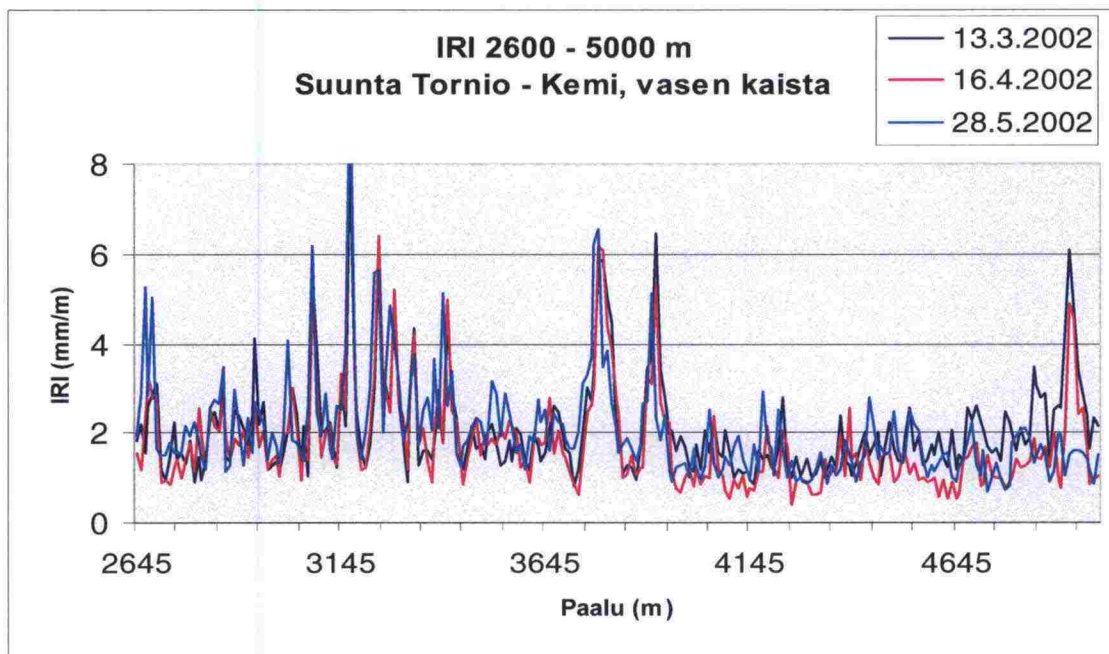
Kuva 10.



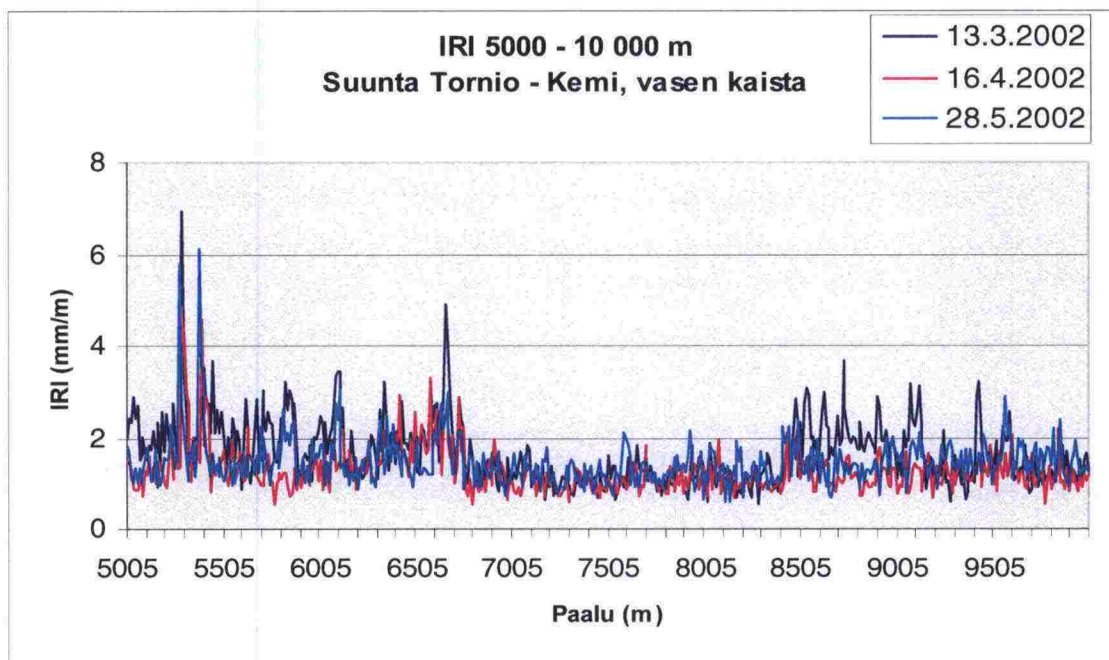
Kuva 11.



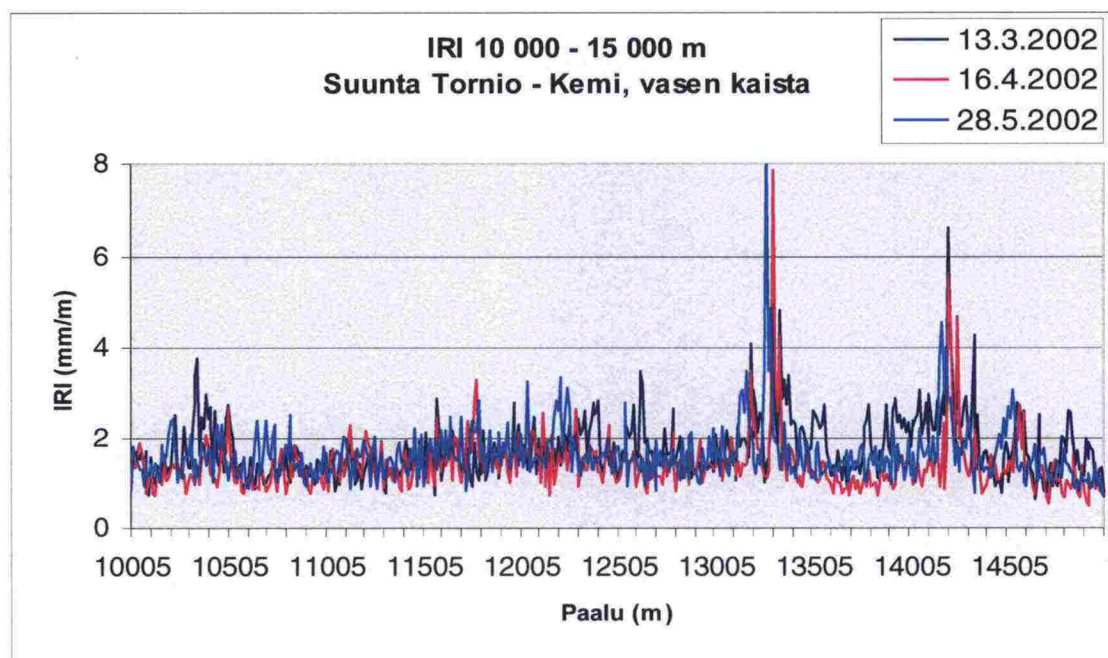
Kuva 12.



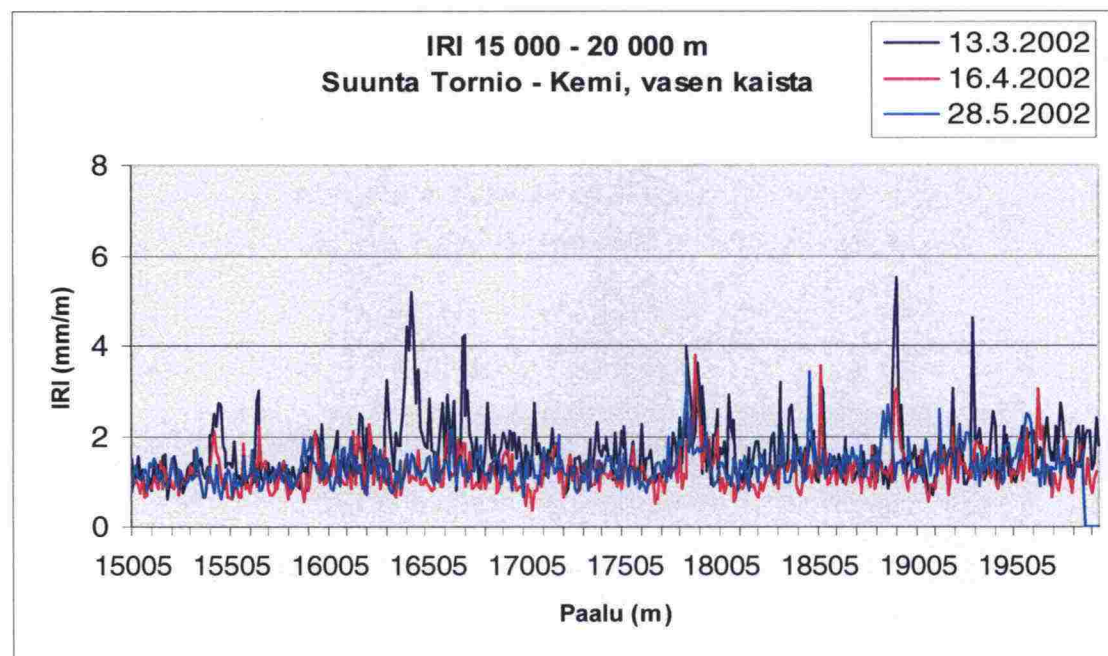
Kuva 13.



Kuva 14.

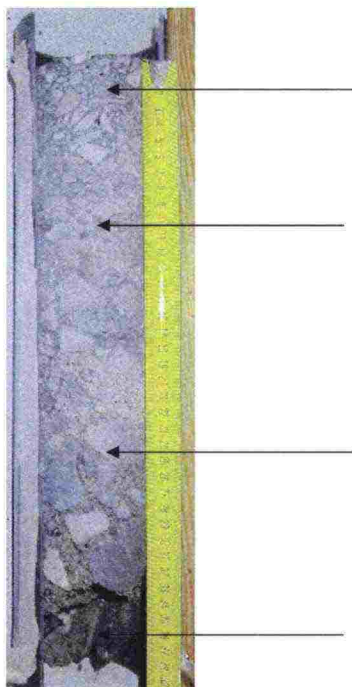


Kuva 15.



Kuva 16.

Liite 2



Oikea ajorata PI 4780

ABK 0 – 60 mm. Tyhjättila: 5.3 %

BST 60 – 180 mm. Tyhjättila 15.3 %

AB + BST kosteus 3,38 %

Imupainekoe: 3.44 %

Poikki 75 mm pinnasta

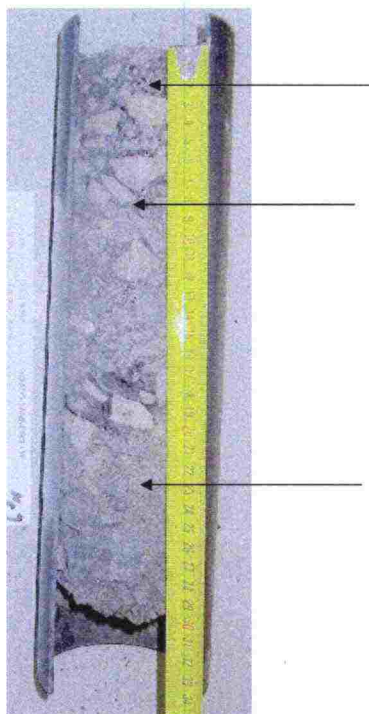
Jakava SrM 180 – 360 mm

Kosteus 3,81 %

Oktoeriste 360 –

Näyte katkennut

Kuva 1.



Oikea ajorata PI 6100

AB 0 – 60 mm, Tyhjättila 7.4 %

Kloridipitoisuus 130 mg/kgKA

BST 60 – 190 mm, Tyhjättila 7.4 %

AB + BST Kosteus 4,12 %, Vedenim. 0.76 %

poikki 55 mm pinnasta

Kloridipitoisuus 340 mg/kg KA

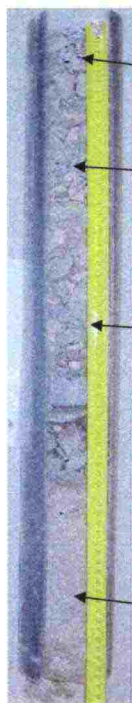
Jakava SrM 190 – 300 mm, näyte katkennut

Kosteus 6,41 %

Kloridipitoisuus 240 mg/kg KA

#0,074 mm läpäisy-% 5,5

Kuva 2.



Oikea ajorata PI 10266

AB 0 – 50 mm, tyhjättila: 5.3 %

Kloridipitoisuus 230 mg/kg KA

BST 50 – 180 mm

AB + BST kosteus 6,48 %, poikki 60 mm pinnasta

Kloridipitoisuus 1200 mg/kg KA

Jakava SrM 180 – 460 mm

Kosteus 180 – 250 mm 7,35 %

250 – 310 mm 4,05 %

310 – 460 mm 2,21 %

Kloridipitoisuus 480 mg/kg KA

#0,074 mm läpäisy- % 9,3

Suodatin Hk 460 – 680 mm, näyte katkennut

Kosteus 13,39 %

Kuva 3.



Oikea ajorata PI 15768

AB 0 – 50 mm, tyhjättila: 7.5 %

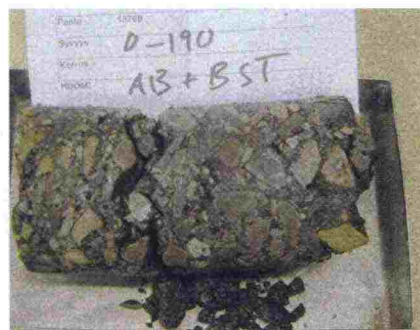
BST 50 – 190 mm , tyhjättila 14.9 %

AB + BST kosteus 4,09 %, imeytys 3.17 %

Poikki 75 mm pinnasta

Jakava SrM 190 – 380 mm, näyte katkennut

Kosteus 3.85 %



Kuva 4.



Oikea ajorata PI 19092

AB 0 – 60 mm, tyhjätila 7.7 %

BST 60 – 180 mm, tyhjätila 13.4 %

AB + BST kosteus 4,13 %, imeytys 3.26 %
poikki 80 mm pinnasta

Jakava SrM 180 – 480 mm

Kosteus 180 – 240 mm 4,02 %

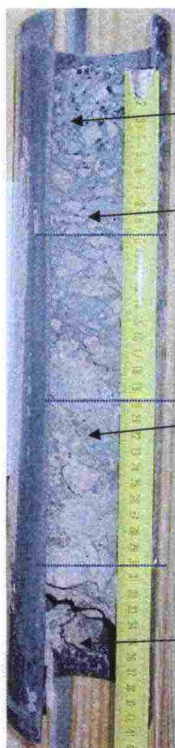
240 – 380 mm 4,44 %

380 – 480 mm 5,47 %

Kiilausmurske 480 – 750 mm (Louherakenne)

Kosteus 4,38 %

Kuva 5.



Vasen ajorata PI 5730

AB 0 – 50 mm, tyhjätila 5.3 %

BST 50 – 170 mm

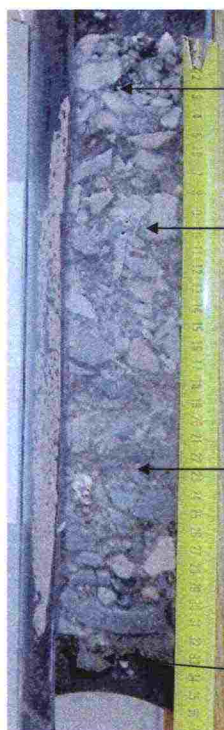
AB + BST kosteus 3,5 %, ehjä kappale

Jakava SrM 170 – 320 mm

Kosteus 3,65 %

Oktoeriste, näyte katkennut

Kuva 6.



Vasen ajorata PI 5894

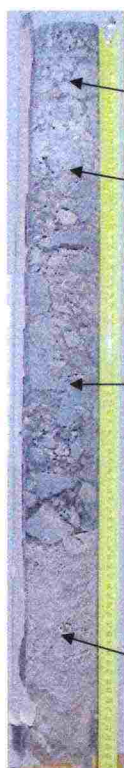
AB 0 – 60 mm, tyhjätila 7.7 %
Kloridipitoisuus 140 mg/kg KA

BST 60 – 180 mm
AB + BST kosteus 5,67 %, poikki 60, 100, 130 mm pinnasta
Kloridipitoisuus 2100 mg/kg KA

Jakava SrM 180 – 330 mm
Kosteus 3,55 %
Kloridipitoisuus 30 mg/kg KA
#0,074 mm läpäisy-% 7,4

Okto, näyte katkennut

Kuva 7.



Vasen ajorata PI 8333

AB 0 – 60 mm, tyhjätila 5.6 %
Kloridipitoisuus 52 mg/kg KA

BST 60 – 170 mm
AB + BST kosteus 2,94 %
Kloridipitoisuus 65 mg/kg KA

Jakava SrM 170 – 530 mm
Kosteus 170 – 300 mm 4,60 %
300 – 420 mm 3,42 %
420 – 530 mm 3,23 %

Kloridipitoisuus <20 mg/kg KA
#0,074 mm läpäisy-% 5,9

Suodatin Hk 530 – 760, näyte katkennut
Kosteus 10,73 %

Kuva 8.



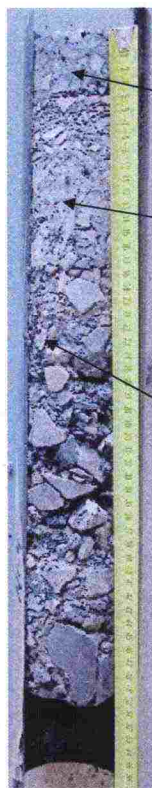
Vasen ajorata PI 15098

AB 0 – 50 mm, tyhjättila 5.9 %
Kloridipitoisuus 71 mg/kg KA

BST 50 – 210 mm
Kloridipitoisuus 190 mg/kg KA,
poikki 50 mm pinnasta

Jakava 210 – 310 mm
Kosteus 4,41 %
Kloridipitoisuus <20 mg/kg KA
#0,074 mm läpäisy-% 7,6
Näyte katkennut

Kuva 9.



Vasen ajorata PI 19170

AB 0 – 50 mm, tyhjättila 7.5 %
Kloridipitoisuus 110 mg/kg KA

BST 50 – 180 mm, tyhjättila: 16.0 %
AB + BST kosteus 5,79 %
Kloridipitoisuus 610 mg/kg KA

Jakava KaM 180 – 510 mm, näyte katkennut

Kosteus 180 – 250 mm 4,06 %

250 – 370 mm 2,77 %

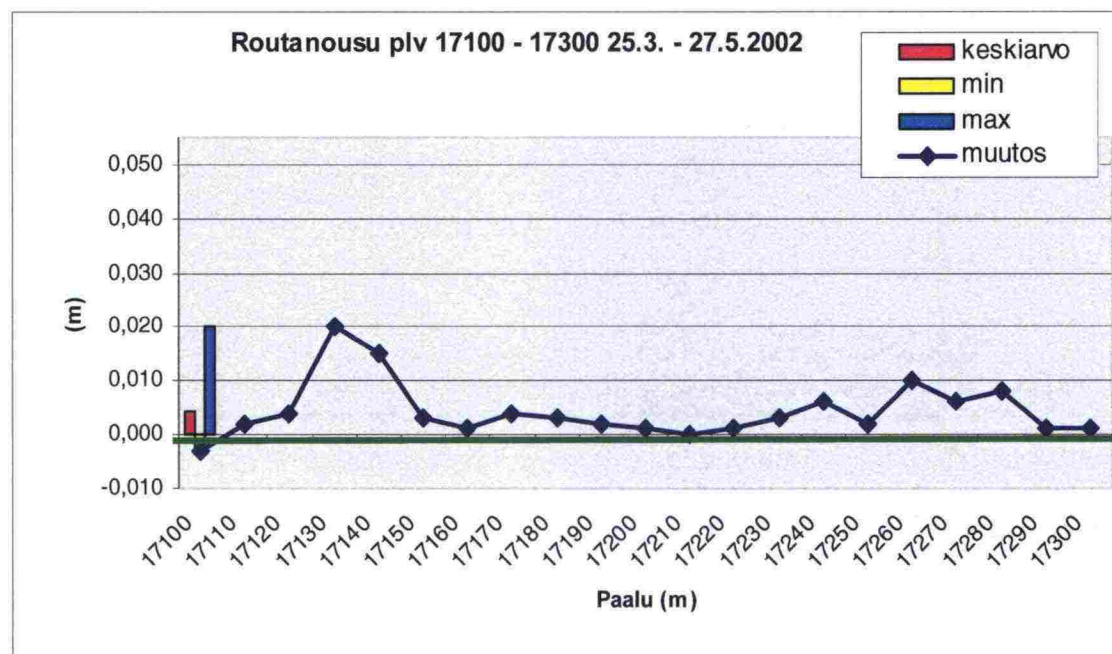
370 – 510 mm 3,37 %

Kloridipitoisuus 330 mg/kg KA

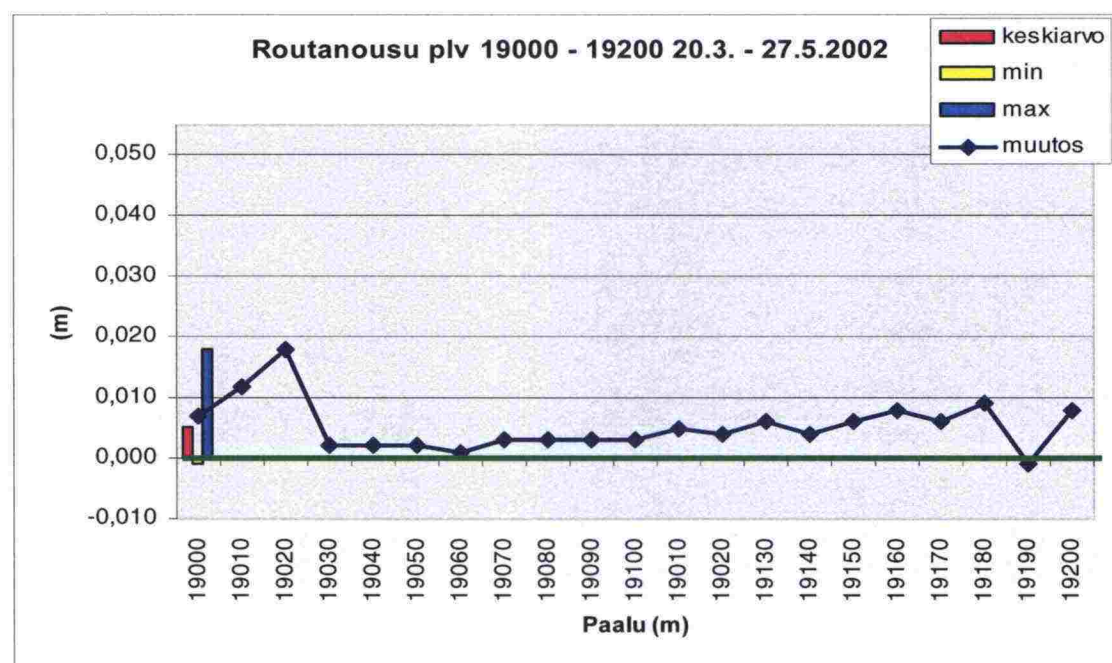
#0,074 mm läpäisy-% 5,8

Kuva 10.

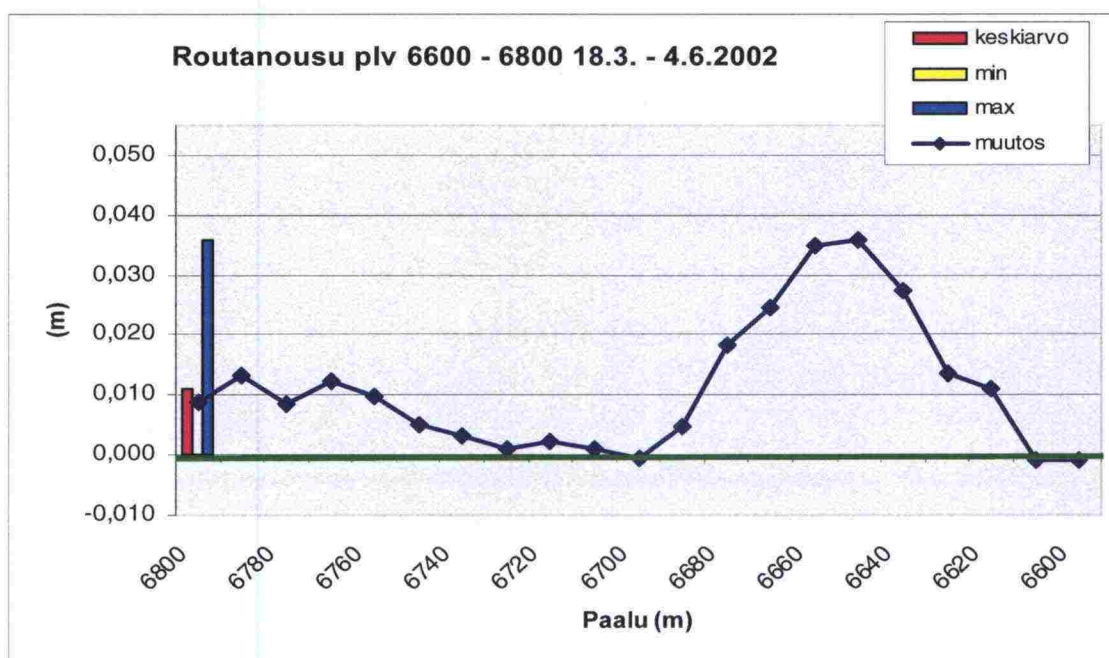
Liite 3



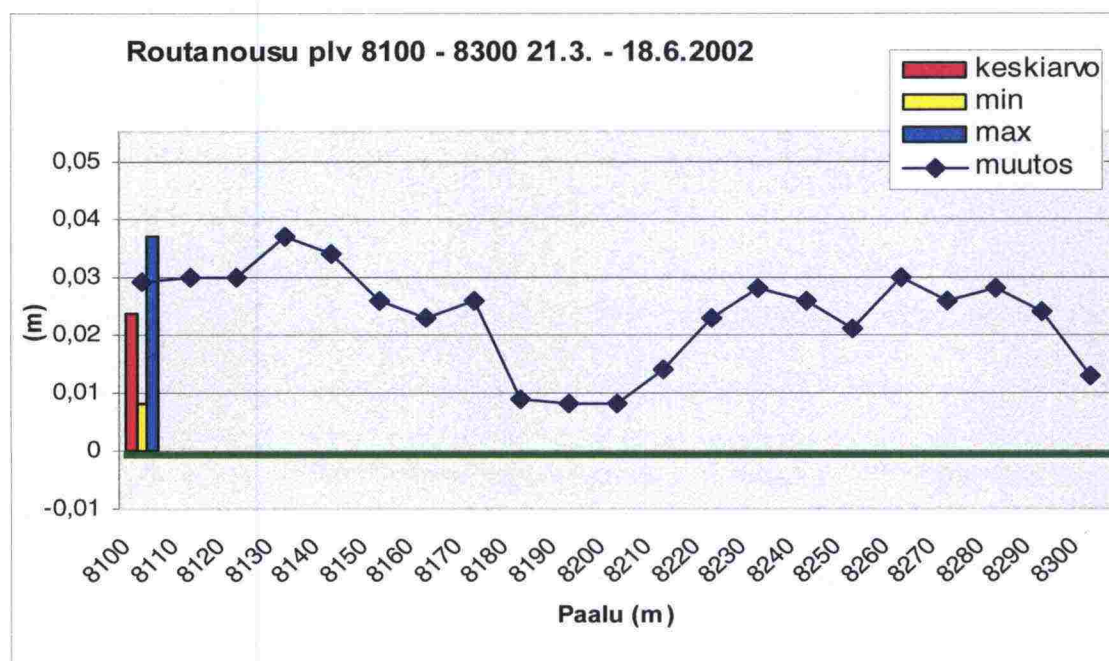
Kuva 1. Routanousut pituusleikkauksella paaluvälillä 17100 – 17300 m (To-Ke).



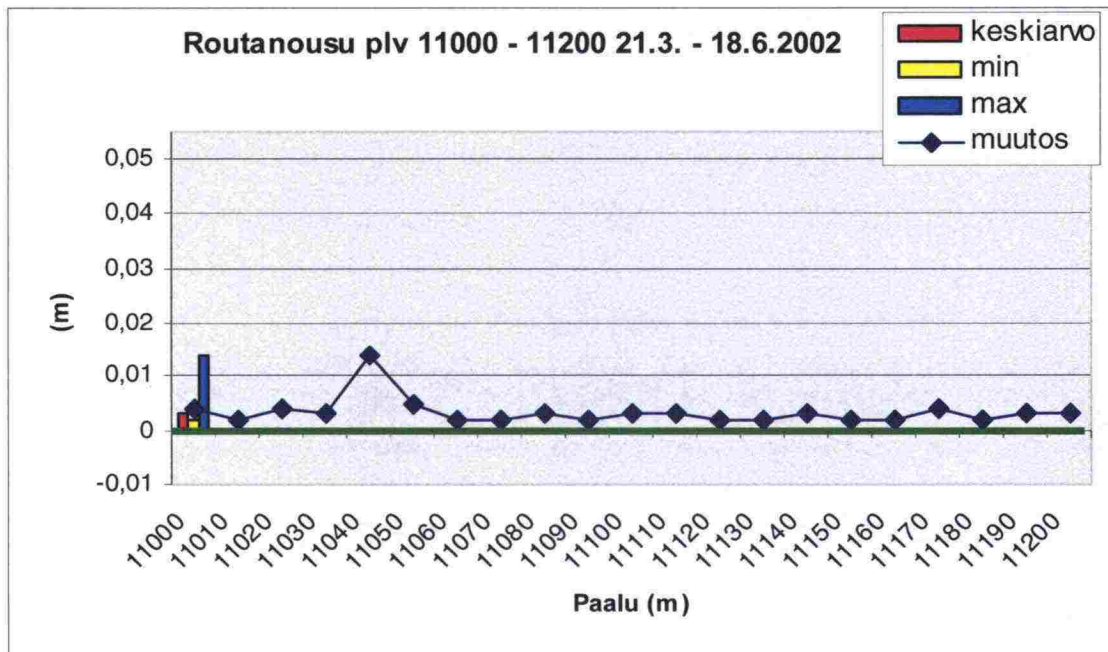
Kuva 2. Routanousut pituusleikkauksella paaluvälillä 19 000 – 19200 m (Ke-To).



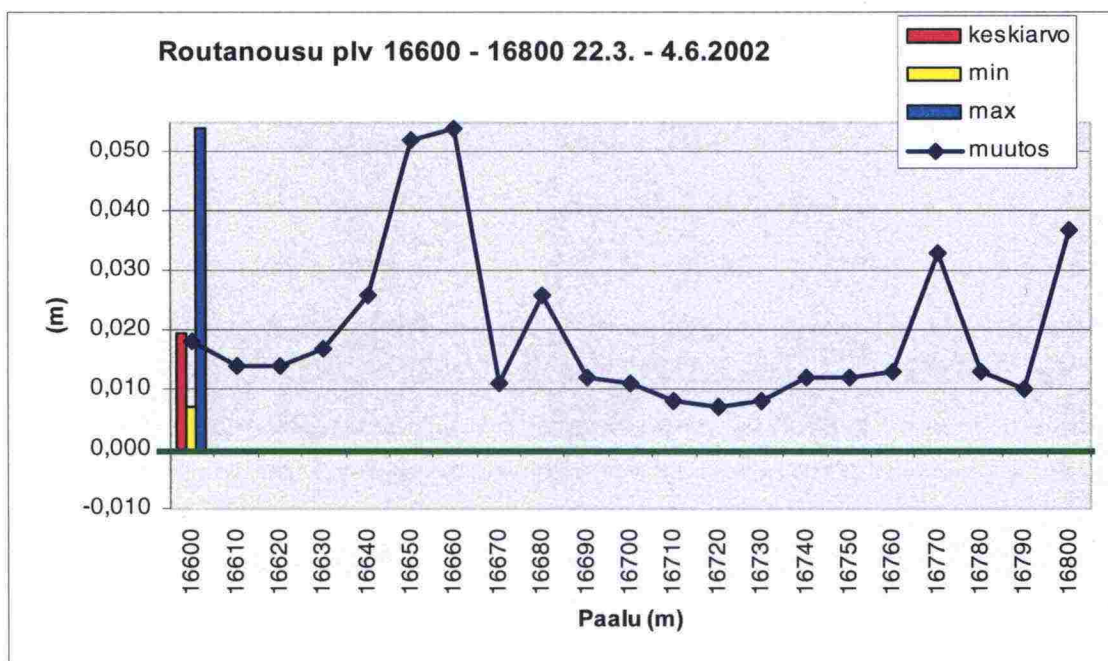
Kuva 3. Routanousut pituusleikkauksella paaluvälillä 6 600 – 6 800 m (Ke-To).



Kuva 4. Routanousut pituusleikkauksella paaluvälillä 8100 – 8300 m (To-Ke).



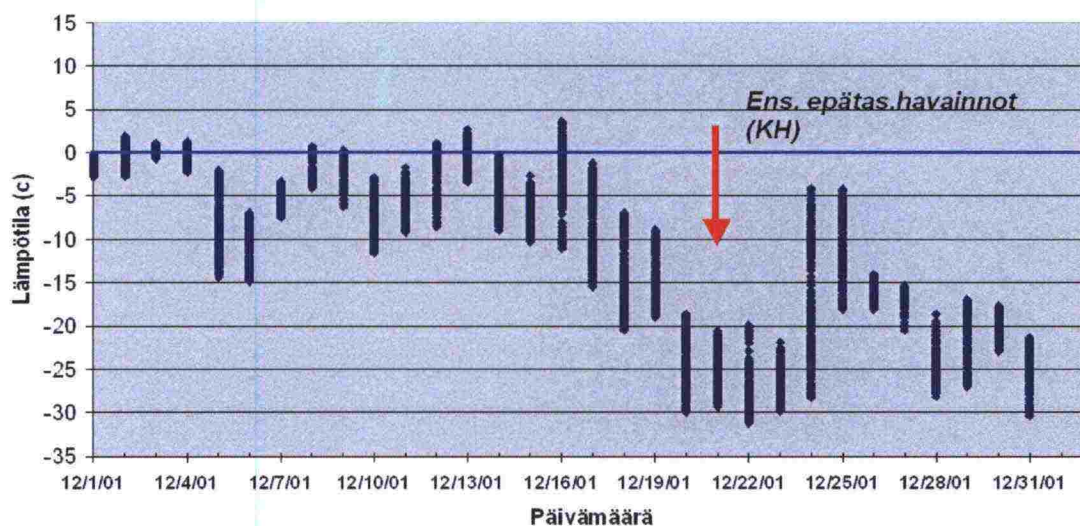
Kuva 5. Routanousut pituusleikkauksella paaluvälillä 11000 – 11200 m (To-Ke).



Kuva 6. Routanousut pituusleikkauksella paaluvälillä 16 600 – 16 800 m (Ke-To).

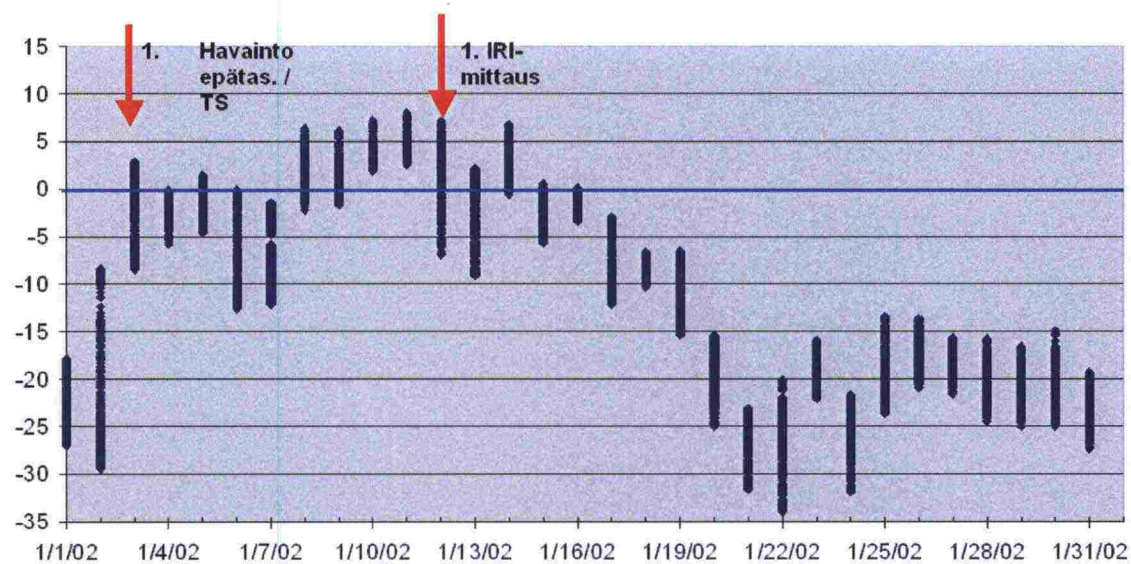
Liite 4

**Ilmalämpötilat mittausasemilla 14020, 14023 ja 14024
Joulukuu 2001**



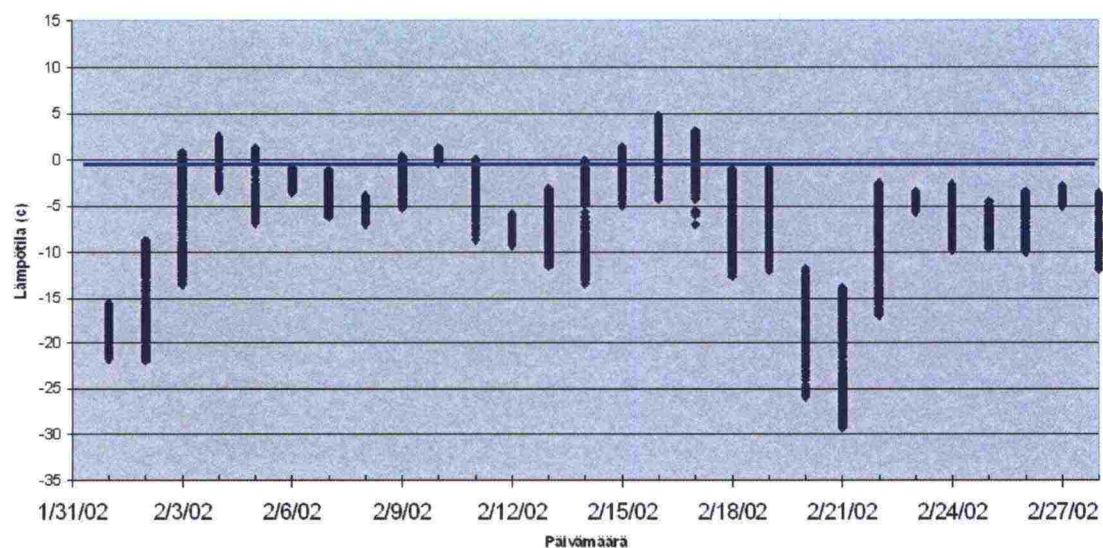
Kuva 1. Ilmalämpötilat joulukuussa 2001 Kemi -Tornio alueen sääasemilla.

**Ilmalämpötilat mittausasemilla 14020, 14023 ja 14024
Tammikuu 2002**



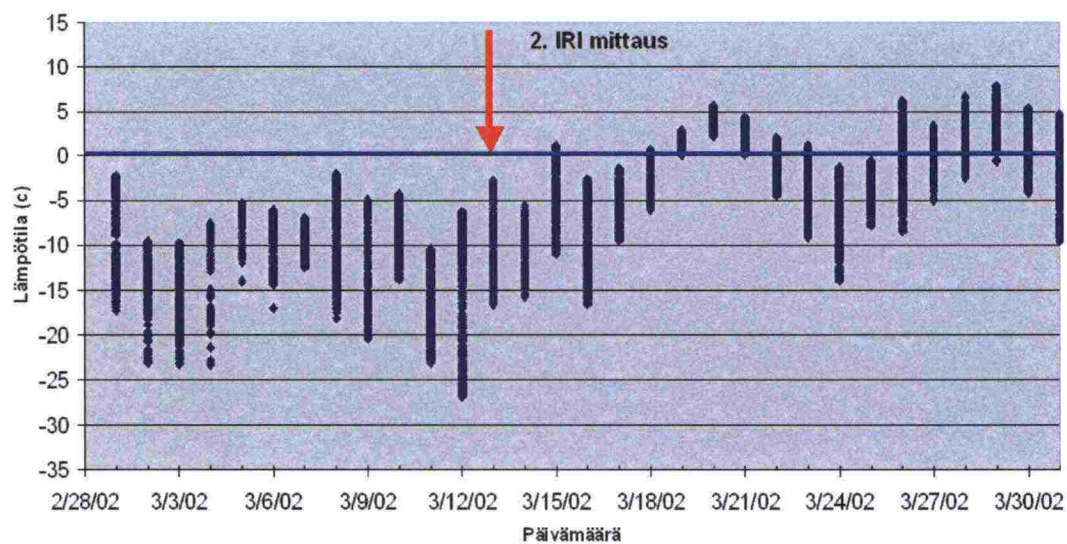
Kuva 2. Ilmalämpötilat tammikuussa 2002 Kemi -Tornio alueen sääasemilla.

**Ilmalämpötilat mittausasemilla 14020, 14023 ja 14024
Helmikuu 2001**



Kuva 3. Ilmalämpötilat helmikuussa 2002 Kemi -Tornio alueen sääasemilla.

**Ilmalämpötilat mittausasemilla 14020, 14023 ja 14024
Maaliskuu 2001**



Kuva 4. Ilmalämpötilat maaliskuussa 2002 Kemi -Tornio alueen sääasemilla.

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-928-5
TIEH 3200775