

Stabiliteetiltaan kriittiset ratapenkereet

Esitutkimus

Fabrizio Brecciaroli ja Pauli Kolisoja



Ratahallintokeskuksen
julkaisu A 8/2004

Stabiiliteetiltaan kriittiset ratapenkereet, esitutkimus

Fabrizio Brecciaroli ja Pauli Kolisoja

Helsinki 2004

Ratahallintokeskus
Kunnossapitoyksikkö

Ratahallintokeskuksen julkaisu A 8/2004
ISBN 952-445-113-1
ISSN 1455-2604
Helsinki 2004

Saatavana myös pdf-muodossa:
www.rhk.fi

Kannen kuva: Fabrizio Brecciaroli

Brecciaroli, Fabrizio–Kolisoja, Pauli: Stabiliateiltaan kriittiset ratapenkereet, esitutkimus. Ratahallintokeskus, kunnossapitoyksikkö. Helsinki 2004. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 8/2004. 107 sivua ja 3 liitettä. ISBN 952-445-113-1, ISSN 1455-2604.

Avainsanat: ratapenger, stabiliateetti, pehmeikkö, rataosa, vakavuus, painuma, radantarkastus, mittausmonitorointi, siirtymä, huokosvedenpaine

TIIVISTELMÄ

Raportissa kartoitettiin ja analysoitiin muutamaa tiedossa olevaan ratapenkereen stabiliateetin ongelmakohteeseen liittyvät olemassa olevat pohjatutkimusaineistot ja mahdolliset muut stabiliateetitilanteeseen liittyvät selvitykset. Tarkastellut kohteet ovat Oriselkä, Suurisuo, Tikkala ja Kiimasuo. Olemassa olevien selvitysten perusteella pyrittiin tunnistamaan jokaisesta kohteesta stabiliateetin kannalta kaikkein kriittisimmät osuudet niissä rajoissa, joissa se käytettävissä olevien aineistojen perusteella oli tehtävissä.

Radan parantamisen suunnitteluun tarkastelluilla kohdilla on ryhdytty lähinnä nykyisen radan geoteknisten ongelmien vuoksi. Ratapenkereillä on tapahtunut siirtymiä ja liikkeitä ja ne ovat painuneet jatkuvasti. Lisäksi ratapenkereen vakavuus on stabiliateettilaskelmien mukaan ollut huono tai jopa erittäin huono (laskettu kokonaisvarmuuskerroin F on paikoin alle 1,00 Kiimasuon kohdalla). Nykyisten raiteiden vakavuus ja/tai painumien kestävyys näyttää olevan niin huono, että tilanteen säilyttäminen nykyisellään saattaa olla riski junaturvallisuudelle. Tilannetta on suunniteltu parannettavaksi joko paikallaan tai rakentamalla rata uudelle paikalle.

Nykyisen ratapenkereen liikkumista ja vakavuutta pitäisi joka tapauksessa seurata mieluiten jatkuvasti ja vähintäänkin säännöllisesti muutaman kerran vuodessa, jotta voitaisiin varmistua junaliikenteen turvallisuudesta. Mittaukset tulisi tehdä erityisesti niissä kohdissa, jotka pohjatutkimusten perusteella on todettu vaarallisimmiksi.

Tämän raportin yhteydessä analysoitiin myös edellä mainittuihin ongelmakohteisiin liittyvät raiteen radantarkastustulokset. Tavoitteena oli tällöin löytää radantarkastustiedoissa mahdollisesti esiintyvien anomalioiden yhteys kohteen pohjasuhteisiin. Valitettavasti näyttää siltä, että radantarkastustulosten perusteella ongelmallisimmiksi osoittautuneet paikat eivät ole välttämättä ollenkaan yhteneviä pohjasuhteiden perusteella stabiliateiltaan ongelmallisimmiksi otaksuttujen paikkojen kanssa. Tämä johtunee siitä, että raidetta on saatettu tukea juuri ennen mittausten tekemistä. Radantarkastustietojen hyödyntäminen ongelmallisimpien osuuksien tunnistamisessa edellyttäisi siis myös varsinaisten kunnossapitotoimenpiteiden historian tuntemista.

Lopuksi kartoitettiin ratapenkereen siirtymien ja sen alla olevassa pohjamaassa vallitsevan huokosvedenpaineen pitkäaikaiseen jatkuvaan seurantaan markkinoilta saatavissa olevat mittausmenetelmät ja -laitteistot tai niiden rakentamiseen soveltuvat komponentit. Selvityksessä analysoitiin seuraavia siirtymämittaukseen perustuvia mittausmenetelmiä: multi-depth deflektometria, mikroprosessoriohjattu maanvyöryjen varoitusjärjestelmä, inklinometria ja muutama valokuituun perustuva menetelmä. Valokuituun perustuvat menetelmät ovat vielä kehitysvaiheessa ja niiden käyttökelpoisuutta rataympäristössä tutkitaan jatkuvasti. Lisäksi analysoitiin myös erilaisia huokospainemittareita.

Yksi Suomessa yleisesti käytetty, maapohjassa tapahtuvien liikkeiden seuraamisen mittausmenetelmä on inklinometri. Inklinometriputki voidaan asentaa ratapenkereen vieressä tai ratapenkereessä olevaan pystysuoraan kairausreikään, joka kulkee oletettujen liikevyöhykkeiden lävitse. Inklinometrin käyttö on suositeltavaa, kun kova pohja on suhteellisen lähellä maanpintaa kuten esimerkiksi Kiimasuon kohdalla. Yksi merkittävä näkökohta on se, että vaarallisissa kohtaa pitäisi pystyä tunnistamaan melko tarkasti, jotta inklinometrit osattaisiin sijoittaa oikealle kohdalle, koska niillä saatava informaatio on kuitenkin sidottu ratalinjalla tiettyyn yksittäiseen mittauskohtaan.

Brecciaroli, Fabrizio–Kolisaja, Pauli: Railway embankments with critical stability, preliminary study. Finnish Rail Administration, Maintenance Department. Helsinki 2004. Publications of the Finnish Rail Administration A 8/2004. 107 pages and 3 appendices. ISBN 952-445-113-1, ISSN 1455-2604.

Key words: railway embankment, stability, soft soil, railway section, settlement, railway inspection, measurements monitoring, displacement, pore water pressure

ABSTRACT

In this report, we studied and analyzed the existing material and stability data related to a few noted problem areas. These areas are Oriselkä, Suurisuo, Tikkala and Kiimasuo. On the basis of the existing reports, we tried to identify the parts with the most critical stability for each area.

On the basis of the ground investigations we stated that the studied railway lines need improving. This results mainly from the geotechnical problems of the existing lines. The railway embankments have been settling continuously and displacements of the ground within and beneath the embankment have been detected as well. What is more, the stability of the embankment has been very low according to the stability calculations, and according to the same calculations the safety factor is as low as $< 1,0$ in some places. The stability of the existing embankments and their ability to withstand settlements have been so bad that maintaining the situation as it is now could constitute a risk to train safety. The existing railway embankments have been planned to be fixed either by restoring the old ones or by constructing new ones in a different place.

The movement and stability of the existing railway embankments should be followed preferably continuously and at least regularly several times per year in order to ensure the safety of the railway traffic. Measurements should be carried out particularly in those parts which have proven to be the most problematic on the basis of the ground investigations.

In this report we also analyzed the railway inspection results related to the four problematic areas in question. The goal was to find possible connections between the anomalies in the railway inspection results and ground conditions. Unfortunately, it seems that such connections do not exist. The parts that have proven to be the most problematic on the basis of the railway inspection results are not the same as the parts that have proven to have the most critical stability on the basis of the ground investigations. This may result from the fact that the tracks might have been tamped immediately before the measurements were taken. To make good use of the railway inspection results in identifying the most problematic areas, we would also need to know the history of the actual maintenance actions and what their scope was.

Finally, we studied several measuring methods, equipment, and apparatus which are available on the market and are used for long-term, continuous monitoring of displacements and settlements within the railway embankment, and pore water pressures within the underlying subsoil. Some of the considered methods are: multi-depth deflectometer (MDD), a microprocessor-controlled early warning system for landslides, inclinometer and several other methods based on optic-fiber technology. Methods based on optic-fiber technology are still at an early stage of development, and

their applicability to railway environments is being investigated continuously. In addition, we analyzed different piezometers.

In Finland, one commonly used measuring method is the use of an inclinometer. It is used for measuring and monitoring movements of the ground within the railway embankment and the underlying subsoil. The inclinometer casing is installed within or beside the railway embankment in a vertical borehole that passes through suspected zones of movement. The use of the inclinometer is recommended when the bedrock is relatively close to the ground surface as it is, for example, at Kiimasuo. One major aspect is that we should be able to identify the most critical area with great accuracy to be able to place the inclinometers to the right locations. This is important because the information we get from the inclinometers is bound to the single measurement point.

ESIPUHE

Tämä stabiiliteetiltaan kriittisiä ratapenkereitä käsittelevä esitutkimushanke tehtiin Tampereen teknillisen yliopiston Pohja- ja maarakenteiden laboratoriossa professori Pauli Kolisojan ohjauksessa. Raportin laati diplomi-insinööri Fabrizio Brecciaroli.

Tutkimuksen tilaajana ja päärahoittajana toimi Ratahallintokeskus, jonka edustajana työtä ohjasi ylitarkastaja Matti Levomäki.

Helsingissä, joulukuussa 2004

Ratahallintokeskus
Kunnossapitoyksikkö

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	5
ESIPUHE.....	7
1 JOHDANTO.....	10
2 TARKASTELTAVAT KOHTEET	12
2.1 Oriselän rataoikaisu	12
2.1.1 Käytävissä olleet asiakirjat.....	12
2.1.2 Suunnittelukohteen yleiskuvaus.....	12
2.1.3 Käsillä olevat ongelmat ja ratkaisuvaihtoehdot	13
2.1.4 Nykyisen ratalinjauksen pohjaolosuhteet.....	19
2.1.5 Radantarkastustulosten tarkastelu	25
2.1.6 Johtopäätökset kohteen tilanteesta	27
2.2 Suurisuoan rataoikaisu	29
2.2.1 Käytävissä olleet asiakirjat.....	29
2.2.2 Suunnittelukohteen yleiskuvaus.....	30
2.2.3 Käsillä olevat ongelmat ja ratkaisuvaihtoehdot	31
2.2.4 Nykyisen ratalinjauksen pohjaolosuhteet.....	33
2.2.5 Radantarkastustulosten tarkastelu	38
2.2.6 Johtopäätökset kohteen tilanteesta	47
2.3 Tikkalan rataoikaisu	48
2.3.1 Käytävissä olleet asiakirjat.....	48
2.3.2 Suunnittelukohteen yleiskuvaus.....	49
2.3.3 Käsillä olevat ongelmat ja ratkaisuvaihtoehdot	50
2.3.4 Nykyisen ratalinjauksen pohjaolosuhteet.....	54
2.3.5 Radantarkastustulosten tarkastelu	59
2.3.6 Johtopäätökset kohteen tilanteesta	64
2.4 Kiimasuoan rataoikaisu	65
2.4.1 Käytävissä olleet asiakirjat.....	65
2.4.2 Suunnittelukohteen yleiskuvaus.....	66
2.4.3 Käsillä olevat ongelmat ja ratkaisuvaihtoehdot	66
2.4.4 Nykyisen ratalinjauksen pohjaolosuhteet.....	69
2.4.5 Radantarkastustulosten tarkastelu	73
2.4.6 Johtopäätökset kohteen tilanteesta	77
3 STABILITEETTITILANTEEN SEURANTAMITTAUSMENETELMÄT	80
3.1 Siirtymämittaukseen perustuvat menetelmät.....	80
3.1.1 Suorat siirtymämittaukset.....	80
3.1.2 Inklinometri.....	83
3.1.3 Valokuituun perustuvat mittaukset	89
3.2 Huokosvedenpaineen mittaamiseen perustuvat menetelmät	95
3.3 Arvio menetelmien soveltamiskelpoisuudesta	101
4 YHTEENVETO	104
4.1 Johtopäätökset tarkastelluista stabiliteetin ongelmakohteista	104

4.2 Johtopäätökset stabiliteettitilanteen seurantamittausmenetelmästä.....	104
4.3 Jatkotoimenpide-ehdotukset.....	106
LÄHDELUETTELO	107

LIITTEET

1. Suurisuon kohdalla olevaan rataosaan liittyvät käytettävissä olleet radantarkastustulokset
2. Tikkalan kohdalla olevaan rataosaan liittyvät käytettävissä olleet radantarkastustulokset
3. Tikkalan radantarkastustulosten yhteenvetokuvia virheluokkien D ja * osalta

1 JOHDANTO

Maamme rataverkolla on joukko lähinnä suoalueilla tai muilla eloperäisten maalajien alueilla sijaitsevia ratapengerosuuksia, joiden stabiliteetti ei tavanomaisilla laskentamenetelmillä tarkasteltuna välttämättä täytä ratapenkereiden stabiliteetille normaalisti asetettavia varmuustasovaatimuksia. Koska olemassa olevan ratapenkereen perustan vahvistamiseen ei käytännössä ole taloudellisia ja teknisesti käyttökelpoisia menetelmiä, tilanteen korjaaminen edellyttäisi uuden ratapenkereen rakentamista. Tästä aiheutuvat investointikustannukset ovat kuitenkin huomattavan suuret. Muita tapoja lykätä tai jopa kokonaan välttää nämä investoinnit on periaatteessa kaksi:

- Kriittisistä penkereistä aiemmin tehtyihin stabiliteettitarkasteluihin ja niiden laskentaperusteisiin perehtymällä selvitetään se, olisiko penkereiden riittävä stabiliteetti mahdollisesti osoitettavissa tarkempiin kenttä- ja laboratoriotutkimuksiin perustuvilla tarkennetuilla laskelmilla.
- Stabiliteetiltaan kriittisille pengerosuuksille rakennetaan tarkkailumittausverkosto, jonka välityksellä saadaan reaaliaikainen hälytys penkereen stabiliteetin mahdollisesta alentumisesta ennen kuin junaliikenteen turvallisuus vaarantuu. Myös tämä vaihtoehto edellyttää kohteista aiemmin tehtyihin pohjatutkimuksiin ja muihin selvityksiin perehtymistä ja todennäköisesti myös täydentävien pohjatutkimusten tekemistä.

Molempien edellä mainittujen vaihtoehtojen toteuttamista voidaan pitää hyvin haastavana tehtävänä. Laskennallisiin tarkasteluihin perustuvassa lähestymistavassa yksi vaativimmista tekijöistä on runsaasti orgaanista ainesta sisältävien materiaalien mekaanisten ominaisuuksien tutkiminen ja niiden kuvaaminen stabiliteetilaskelmien yhteydessä. Tarkkailumittauksiin perustuvassa lähestymistavassa ongelmana on taas vähäinen kokemus mainitunlaisten mittaustekniikoiden soveltamisesta suomalaisiin ilmasto- ja muihin olosuhteisiin. Rataympäristöön sijoittuva käyttökohde asettaa erityisen suuret vaatimukset myös tarkkailumittausjärjestelmien toiminnan luotettavuudelle ja häiriöttömyydelle.

Tehtävän vaativuudesta johtuen stabiliteetiltaan kriittisiä ratapenkereitä koskeva tutkimushanke on tarkoitus toteuttaa kaksivaiheisena siten, että ennen varsinaista tutkimusvaihetta tehdään sitä valmisteleva esitutkimus. Tässä raportissa kuvattavan esitutkimusvaiheen tavoitteet olivat seuraavat:

- Kartoitetaan ja analysoidaan muutamaan tiedossa olevaan ongelmakohteeseen liittyvät olemassa olevat pohjatutkimusaineistot ja mahdolliset muut stabiliteetti-tilanteeseen liittyvät selvitykset.
- Olemassa olevien selvitysten perusteella tunnistetaan kustakin kohteesta stabiliteetin kannalta kaikkein kriittisimmät osuudet niissä rajoissa, joissa se käytettävissä olevien aineistojen perusteella on tehtävissä. Samalla arvioidaan mahdollisten täydentävien pohjatutkimusten tarve ja tehdään ehdotus niiden sisällöstä.
- Analysoidaan edellä mainittuihin ongelmakohteisiin liittyvät raiteen radantarkastustulokset. Tavoitteena on tällöin löytää radantarkastustuloksissa mahdollisesti esiintyvien anomalioiden yhteys kohteen pohjasuhteisiin.

- Kartoitetaan ratapenkereen siirtymien ja sen alla olevassa pohjamaassa vallitsevan huokosvedenpaineen pitkäaikaiseen jatkuvaan seurantaan markkinoilta saatavissa olevat mittausten menetelmät ja laitteistot tai niiden rakentamiseen soveltuvat komponentit.
- Edellyttäen, että ratapenkereen siirtymien jatkuvaan seurantaan soveltuva, luotettavuudeltaan riittävän hyväksi arvioitu mittaustekniikka ja -laitteisto löydetään markkinoilta tai sellainen onnistutaan itse kehittämään, sen testiversio asennetaan johonkin tiedossa olevista stabiliteetin ongelmakohteista ja aloitetaan kohteen jatkuvat seurantamittaukset.
- Tehdään ehdotus varsinaisen tutkimusvaiheen sisällöstä ja muista tarvittavista jatko-toimenpiteistä sekä arvioidaan näiden kustannukset.

Tarkastettavat kohteet ovat:

- Oriselkä → kohde sijaitsee Tampere–Jyväskylä-rataosalla noin 40 km Tampereelta koilliseen. Rataoikaisun suunnittelualue sijaitsee kilometrivälillä noin 230–232 Oriveden kaupungissa keskustaajaman itäpuolella.
- Suurisuo → kohde sijaitsee Lahti–Luumäki-rataosalla noin 45 km Lahdesta itään. Rataoikaisun suunnittelualue sijaitsee kilometrivälillä noin 174+800–180+100 Iitin ja Kuusankosken kunnissa.
- Tikkala → kohde sijaitsee Säkäniemi (Onkamo)–Joensuu-rataosalla noin 30 km Joensuusta etelään. Rataoikaisun suunnittelualue sijaitsee kilometrivälillä noin 592–600 Tohmajärven ja Pyhäselän kunnissa.
- Kiimasuo → kohde sijaitsee Kylmäkosken aseman ja Urjalan aseman välillä noin 50 km Tampereelta lounaaseen. Rataoikaisun suunnittelualue sijaitsee kilometrivälillä noin 155+200–156+800.

2 TARKASTELTAVAT KOHTEET

2.1 Oriselän rataoikaisu

2.1.1 Käytettävissä olleet asiakirjat

Oriselän kohteeseen liittyvästä aineistosta löytyvät SCC-Viatek Oy:n tekemät stabiliteettilaskelmat paaluilta 230+000, 230+600, 231+010, 231+040, 231+240, 231+600 ja 231+920. Laskelmat on tehty kokonais- ja osavarmuusmenetelmällä. Aineistossa ovat myös TTY:n Pohja- ja maarakenteiden laboratoriossa tehdyt kolmiaksaalikokeet ja Roadscanners Oy:n tekemät maatulkuotaukset sekä tarkkailumittaukset. Lisäksi käytettävissä ovat olleet seuraavat SCC-Viatek Oy:n piirustukset:

- Yleiskartta (sillat ja rummut, sekä vanhat rakenteenparantamistoimenpiteet) km 228+700–232+900
- Pohjatutkimuskartta km 229+660–233+865
- Vaihtoehtojen suunnitelmakartat
- Nykyisen radan ja vaihtoehtojen pituusleikkaukset
- Vaihtoehtojen poikkileikkaukset eri paaluilta
- Pohjatutkimusleikkaukset km 230+000, 230+050, 230+560, 230+600, 230+920, 230+960, 231+020, 231+040, 231+090, 231+170, 231+240, 231+340, 231+440, 231+600, 231+920 ja 231+980
- Maaperäkartta ja maanomistajakartta

Myös SCC-Viatek Oy:n tekemät vaihtoehtojen ympäristövaikutusten arviointi ja palauteyhteenveto ovat olleet käytettävissä.

Lisäksi käytössä ovat olleet radantarkastustulokset (EMMA), eli radan geometriamittauksiin perustuvat virhelistaukset seuraavilta päiviltä: 18.10.2001, 17.4.2002, 24.8.2002 ja 15.4.2004.

Prof. Pauli Kolisoja ja tutkija Fabrizio Brecciaroli kävivät oikaisukohteen maastossa 17.11.2003.

2.1.2 Suunnittelukohteen yleiskuvaus

Suunnittelukohde sijaitsee Tampere–Jyväskylä-rataosalla noin 40 km Tampereelta koilliseen. Rataoikaisun suunnittelualue sijaitsee kilometrivälillä noin 230–232 Oriveden kaupungissa keskustaajaman itäpuolella.

Rataosa on yksiraiteinen ja sähköistetty. Alueella on tällä hetkellä pysyvä nopeusrajoitus 80 km/h. Rataosalla kulkee vuorokauden aikana 45 junaa, josta henkilöliikenteen junia on 26 kpl ja tavaraliikenteen junia 19 kpl.

Km 230+228:llä on Erärannan ylikulkusilta, joka on jännitetty elementtisilta. Km 230+355:llä, km 230+508:llä ja km 231+906:llä on betonivalurumpu. Km 230+903:llä on Penttilänlahden ratasilta, joka on teräspalkkibetoninen laattasilta. Km 230+800:n ja km 231+800:n välillä on Kv:n madallus ja routalevyjen asennus.

Rata on tarkastelluilla kohdilla aivan vesistön lähellä Oriselän rantaviivassa ja osan matkaa rata on rakennettu Penttilänlahden poikki. Penttilänlahden kohdalla rata on rakennettu vesistöpenkereenä noin 300 m matkalla. Oriselkä sijaitsee radan pohjoispuolella. Järven keskivedenpinnan taso on Pirkanmaan ympäristökeskuksen arvioiden mukaan +84,21 ja alivedenpinta on tasolla +83,69.

Nykyiseen ratalinjaan rajoittuva Oriselkä on perustyyppiltään ruskeavetinen rehevä humusjärvi, jonka vedet laskevat Längelmäveden Pappilanselkään. Oriselän lähi-valuma-alue koostuu lähes yksinomaan pelloista sekä haja-asutuksesta, joten haja-kuormituspainne on suuri. Lisäksi Oriselkään johdetaan Oriveden kaupungin keskustaajaman jätevedet.

Suunnittelualan maiseman hallitsevia piirteitä ovat Oriselän pyöreämuotoinen vesistö, järven rannoille loivasti viettävät viljelysalueet sekä erittäin voimakkaasti vaihteleva korkokuva suunnittelualan etelä- ja kaakkoispuolella.

Radan korkeusviiva on kohteen alkupäässä km 229+600 tasolla noin +90. Radan korkeusviiva on alhaisimmillaan Penttilänlahden kohdalla tasolla +86,1 noin 1,9 m keskivedenpinnan yläpuolella. Suunnittelualan lopussa radan korkeusviiva nousee km:ltä 231+800 lähtien Jyväskylään päin 12 ‰ kaltevuudessa ollen km:llä 233+800 tasolla noin +111.

Ratapenger on pääosin noin 1,2–1,9 m ympäröivän maanpinnan yläpuolella. Poikki-leikkauksissa km 230+000, km 230+600 ja km 231+920 ratapenkereen korkeus on noin 3,5–6,0 m ympäröivää maanpintaa ylempänä. Ratapenkereen korkeustaso on +85,8–+90,5.

Tarkasteltavalla rataosalla on viisi pehmeikköä:

- km 230+000 ... 230+100 (Kannuksenlahti)
- km 230+500 ... 230+560 (Mustalahti)
- km 231+000 ... 231+300 (Penttilänlahti)
- km 231+500 ... 231+700 (Paltaanlahti)
- km 231+900 ... 231+940 (Paltaanlahti)

Pehmeiköllä luonnolliset maakerrokset vesistön lahden pohjukoissa ovat liejua ja liejusta silttiä, jonka alla on silttiä ja savista silttiä. Alimpana maakerroksena on moreenia. Pehmeikköjen välissä maapohja on pääasiassa moreenia ja kalliota.

Alueella ei esiinny arvokkaita luontokohteita. SCC-Viatek Oy:n suunnitelma-asiakirjoista saatujen tietojen mukaan alueella ei sijaitse maisemallisesti tai kulttuurihistoriallisesti arvokkaita rakennuksia eikä kulttuurimaisema-alueita.

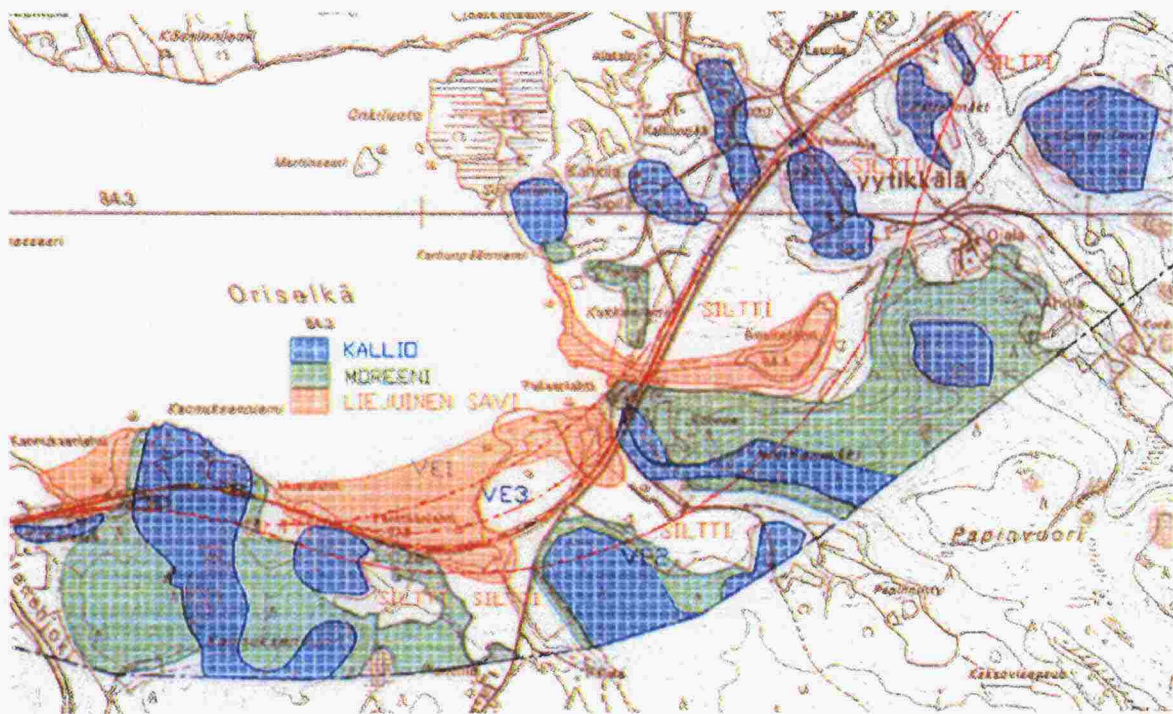
Oriselän kohdalla radan vakavuus ei ole riittävä ja radan siirtymiä voi tapahtua. Ongelmallisin osuus on km 229+920... km 231+200.

2.1.3 Käsillä olevat ongelmat ja ratkaisuvaihtoehdot

Radan parantamisen suunnitteluun Oriselän kohdalla on ryhdytty lähinnä nykyisen radan geoteknisten ongelmien vuoksi. Alustavan yleissuunnitelman lähtökohtana on

ollut nykyisen ratapenkereen vakavuuden lisääminen. Tehtyjen vakavuustarkastelujen mukaan rata ei ole välittömässä sortumavaarassa. Radan vakavuus ei kuitenkaan ole riittävä ja radan siirtymiä voi tapahtua. Ongelmallisin osuus on km 229+920...km 231+200, jossa pengertäyttö on osittain syrjäyttänyt alla olevan liejusaven. Penger on alaosastaan liian kapea, jolloin radan luiskat ovat epävakaat ja alttiit liikkumaan.

Riittämättömän stabiliteetin vuoksi rataa ei voida korottaa tai ratapengertä leventää. Nykyisen radan parantaminen on mahdollista rakentamalla varovaista paalutustapaa käyttäen silta nykyisen radan paikalle tai viereen (VE0+). Mikäli nykyisen radan parantaminen ei onnistu, vaihtoehtoina on tutkittu myös uusia ratalinjoja (kuva 2.1:1), joilla ongelmallinen rataosuus voidaan ohittaa. Uusia linjauksia on tutkittu sekä nykyisen radan pohjois- (VE1 ja VE3) että eteläpuolelta (VE2). Oikaisuvaihtoehdoissa radan geometriassa voidaan varautua pitkän aikavälin tarpeisiin, joita ovat mm. nopeustasojen nostaminen.



Kuva 2.1:1 Suunnittelukohteen maaperäkarta ja tutkitut vaihtoehdot

Nykyisen radan parantamisen vaihtoehtojen tarkasteluissa on noudatettu seuraavia suunnitteluperusteita:

- kokonaisvarmuuskerroin liikusortumista vastaan on vähintään 1,8
- suurin sallittu akselipaino 250 kN nopeudella 80 km/h

Uusien linjausten suunnittelussa on noudatettu seuraavia tilaajan määrittelemiä tai työn aikana sovittuja lähtökohtia:

- mitoitusnopeus on 160 km/h perinteisellä junakalustolla ja 200 km/h kallistuvakorikorisella junakalustolla
- pienin kaarresäde 1400 m

- suurin sallittu pituuskaltevuus 12,5 ‰
- suurin sallittu akselipaino 250 kN nopeudella 80 km/h
- kokonaisvarmuuskerroin liukusortumista vastaan vähintään 1,8

Vaihtoehto VE0+

Nykyisen raiteen geometria on tarkasteluosuudella jyrkkäkaarteinen. Pienin kaarresäde on noin 599 m. Nykyinen ratapenger on rakennettu osin louheesta ja osin hiekasta sekä moreenista.

Mikäli rata parannetaan nykyiselle paikalleen, junien nopeuksia ei voida kasvattaa merkittävästi ko. rataosuudella. Nykyisen raiteen geometria sallii 95 km/h nopeuden perinteisellä junakalustolla. Nykyisen raiteen sivuun rakennettaessa raidegeometriaa voidaan parantaa sen verran, että nopeus voidaan nostaa 110 km/h perinteisellä junakalustolla ja kallistuvakorilla 140 km/h.

Ratapenkereen vakavuutta voidaan parantaa vastapenkereiden avulla muualla paitsi Penttilänlahden kohdalla (Taulukko 2.1:1).

Taulukko 2.1:1 SCC-Viatek Oy:n tekemien laskelmien tulokset ratapenkereen vakavuudesta kokonaisvarmuusmenetelmällä, junakuorma 110 kN/m (akselipaino 22,5 t).

Poikkileikkaus km	Varmuuskerroin F_{kok}	Toimenpide vakavuuden parantamiseksi
229+920 ... 230+060	$F = 1,28$	Vastapenkereet
230+530 ... 230+640	$F = 1,19$	Vastapenkereet
230+900 ... 231+200	$F = 1,33$	Siltarakenne
231+240	$F = 2,29$	Ei toimenpiteitä
231+340	$F = 2,47$	Ei toimenpiteitä
231+600	$F = 2,52$	Ei toimenpiteitä
231+900 ... 232+000	$F = 1,11$	Vastapenkereet

Penttilänlahden (km 230+900 ... km 231+200) kohdalla vakavuutta voidaan parantaa seuraavilla tavoilla:

- Rakennetaan nykyisen raiteen sivuun paalutettu laattasilta. Rakentaminen voidaan toteuttaa pääsääntöisesti raideliikennettä häiritsemättä. Liitettäessä uusi ratalinjaus olemassa olevaan linjaukseen raideliikenteelle joudutaan ottamaan noin vuorokauden liikenne- ja jännitekatko. Penkereen stabiliteettia pienentävän tärinän välttämiseksi silta perustetaan porattavilla teräspalkkipaaluilla. Sillan kansirakenteen tulee olla matalarakenteinen laatta vedenpinnan läheisyyden vuoksi. Tarvittavan sillarakenteen pituus on pohjoispuolelle rakennettaessa noin 280 m (VE0+-1A) ja eteläpuolelle rakennettaessa noin 320 m (VE0+-1B). Ratkaisu vaatii myös radan sähköistykseen uusimisen tältä osin. Nykyisen raiteen sähköpylväät ovat pohjoispuolella. Riskit nykyisen penkereen siirtymien suhteen paalutustöiden aikana ovat suuremmat pohjoispuolelle rakennettaessa. Myös paalupituudet ovat isompia pohjoispuolella kuin eteläpuolella. Jäädetyttyä maata voidaan mahdollisesti myös käyttää työalustana ja valumuottien tuennassa.

- Rakennetaan nykyisen raiteen sivuun siirrettävä silta (VE0+-2). Sillan paalutus tehdään lyhyiden liikenne- ja jännitekatkojen aikana. Paaluina käytetään suuri-
läpimittaisia porattavia teräsputkipaaluja. Sillan kansilohkot rakennetaan valmiiksi radan eteläpuolella ja siirretään paikoilleen liikenne- ja jännitekatkojen aikana. Siirrettävän kansilohkon maksimipituus on noin 50 m. Tarvittava siltapituus on noin 300 m. Raideliikenteelle aiheutuvat liikennehaitat ovat melko suuria johtuen siitä, että paalutustöitä joudutaan tekemään liikennöidyllä raiteella.
- Rakennetaan nykyisen raiteen kohdalle elementtisilta pitkän liikennekatkon aikana (VE0+-3). Sillan paalutus tehdään lyhyiden liikenne- ja jännitekatkojen aikana. Paaluina käytetään porattavia suuriläpimittaisia teräsputkipaaluja. Liikenne- ja jännitekatkon aikana rata puretaan, asennetaan elementtilaatat kansirakenteeksi ja rata asennetaan uudelleen siltakannen päälle. Rakentaminen voidaan toteuttaa nostamalla hieman radan kv-tasoa. Tällöin rataa korotetaan myös sillan molemmilla puolilla. Kansirakenteen rakentamisen vaatima liikenne- ja jännitekatkon pituus on noin 1 viikko, jona aikana junille pitää järjestää korvaavat yhteydet. Tähän vaihtoehtoon sisältyy huomattavia töiden yhteensovittamisongelmia ja liikennehaittoja.

Vaihtoehdon VE0+ kustannukset ovat menetelmästä riippuen 4,63...5,66 milj. euroa (alv 0 %). Edullisin (VE0+-3) vaihtoehto edellyttäisi yhden viikon täydellistä liikennekatkoa. Seuraavaksi edullisin on eteläpuolelle VE0+-1B -vaihtoehto (4,82 milj. €). Järven puolelle (VE0+-1A) rakennettaessa kustannukset ovat 4,93 milj. €. Siirrettävän siltavaihtoehdon (VE0+-3) kustannukset ovat 5,66 milj. €.

Pohjoispuolinen vaihtoehto (VE1 ja VE3)

VE1 on geometrialtaan huomattavasti nykyistä rataa parempi. Vesistösillan pituus on noin 400 m. Siltaa ei juurikaan kannata lyhentää pengertä rakentamalla, koska kovan pohjan syvyys on suuri. Sillan molemmin puolin rakennetaan pengerpaalutus. VE1:n linjaus on 2400 m pitkä. Se alkaa km:ltä 229+830 ja päättyy km:lle 232+356. Se lyhentää noin 150...200 m ratalinjaa. Pienin kaarresäde on 1400 m. Kallistuvakorisisella junalla voidaan raidegeometrian puolesta ajaa 200 km/h.

Mikäli radan mitoitusnopeutena käytetään 120 km/h, voidaan linjaus tehdä lähemmäksi nykyistä raidetta (VE3). Vesistösillan pituus on tällöin noin 290 m. VE3:n linjaus on pituudeltaan 1448 m, se alkaa km:ltä 230+540 ja päättyy km:lle 232+200. Pienin kaarresäde on 800 m. Kallistuvakorisisella junalla voidaan raidegeometrian puolesta ajaa 160 km/h.

Vaihtoehdoisen linjauksen VE1 pohjasuhteet ovat seuraavanlaiset:

- Plv 0...300 on pehmeikkö, jossa on liejusavea/silttiä 1...7 m, jonka alla on löyhärakenteista silttiä 4...6 m. Siltin alla on moreenia.
- Plv 300...700 on kalliota, jonka päällä on 0...2 m moreenia.
- Plv 720...900 savista silttiä 1...7 m, jonka alla moreenia peittävä laahasavikerros.
- Plv 900...950 moreenia ja kalliota, nykyisen radan penger.
- Plv 990...1390 vesistösilta.
- Plv 1400...1620 savista silttiä 1...6 m, jonka alla moreeni.
- Plv 1620...2000 lieju ja liejuinen savi 1...6 m, jonka alla savista silttiä ja silttiä 5...7 m.

VE3:n pohjasuhteet noudattavat pääosin VE1:n pohjasuhteita plv 900...2000.

Pehmeikköjen kohdalla ja sillan tulopenkereillä rata perustetaan kovaan pohjaan lyötävillä teräsbetonipaaluilla ja paalulaatalla sekä massanvaihdon varaan. Nykyisen radan läheisyydessä on paalutus tehtävä lyötävillä tai porattavilla teräspaaluilla penkereen alhaisen stabiliteetin vuoksi.

Vaihtoehto VE1:n rataoikaisulinjaus vaatii kaksi uutta siltarakennetta. Uudet siltarakenteet voidaan rakentaa häiritsemättä raideliikennettä. Ratalinjaus Kannuksenniemen kohdalla tulee kulkemaan nykyisen linjauksen eteläpuolelta. Kannuksenniemeen menevä yksityistie tulee ylittämään radan noin ratakilometrillä 230+228. Siltapaikalla ratalinjaus tulee kulkemaan syvässä maa- ja kalliioleikkauksessa. Ylikulkusiltavaihtoehto (VE1-1) on esim. teräsbetoninen laattapalkkisilta tai jännitetty palkkisilta. Sillan hyödyllinen leveys on 4,5 m ja kokonaispituus on noin 30 m. Sillan alustava perustamistapa on maanvarainen tai kallionvarainen. Penttilänlahden kohdalla uusi ratalinjaus kulkee nykyisen ratalinjakunnan pohjoispuolelta Penttilänlahden yli. Ratalinjaus vaatii uuden vesistön ylittävän ratasillan (VE1-2). Silta on esim. jännitetty palkkisilta, jonka hyödyllinen leveys on 7,2 m ja kokonaispituus noin 400 m. Silta perustetaan joko lyötävillä tai porattavilla teräspalkkipaaluilla kallion varaan.

Vaihtoehdossa VE3 ratalinjaus noudattelee pääosin nykyistä linjausta. Penttilänlahden kohdalla linjaus tulisi kulkemaan nykyisen linjauksen pohjoispuolella Penttilänlahden yli. Linjaus vaatii uuden vesistön ylittävän ratasillan (VE3-1). Silta on esim. jännitetty/teräsbetoninen laatta- tai palkkisilta, jonka hyödyllinen leveys on 7,2 m ja kokonaispituus noin 290 m. Silta perustetaan joko lyötävillä tai porattavilla teräspalkkipaaluilla kallion varaan. Sillan rakentaminen voidaan toteuttaa häiritsemättä raideliikennettä.

Vaihtoehdon VE1 kustannukset ovat alustavan kustannusarvion mukaan 13,5 milj. euroa (alv 0 %). Vaihtoehdon VE3 kustannukset ovat alustavan kustannusarvion mukaan 7,3 milj. euroa (alv 0 %).

Etelänpuoleinen vaihtoehto (VE2)

VE2:n ratalinjaus on pituudeltaan 4200 m. Se alkaa km:ltä 229+660 ja päättyy km:lle 233+865. Pienin kaarresäde on 1400 m. Kallistuvakorilla junalla voidaan raidegeometrian puolesta ajaa 200 km/h.

Yleispiirteiset pohjasuhteet ovat seuraavanlaiset:

- Plv 200...500 on pehmeikkö, jossa on liejusavea/silttiä 1...7 m, jonka alla on löyhärakenteista silttiä 4...6 m. Siltin alla on moreenia.
- Plv 500...850 on kalliota, jonka päällä on 0...2 m moreenia
- Plv 850...1000 savista silttiä 1...11 m
- Plv 1000...1250 on kalliota, jonka päällä moreenia 0...2 m
- Plv 1250...1380 silttiä ja moreenia
- Plv 1380...1740 pehmeikkö, jossa on liejua, savea, savista silttiä ja silttiä. Pehmeikön syvyys on suurimmillaan noin 20 m.
- Plv 1740...1960 moreenia, jonka alla kalliota 0...2 m syvyydessä
- Plv 1960...2120 silttiä ja laihaa savea
- Plv 2120...2650 moreenia, jonka alla kalliota, paikoin melko lähellä maanpintaa

- Plv 2650...3520 silttiä ja laihaa savea
- Plv 3520...3650 moreenia ja kalliota
- Plv 3650...4300 pääasiassa savista silttiä ja silttiä.

Pehmeikköjen kohdalla ja sillan tulopenkereillä rata perustetaan kovaan pohjaan lyötävillä teräsbetonipaaluilla ja paalulaatalla. Nykyisen radan läheisyydessä on paalutus varauduttava tekemään lyötävillä tai porattavilla teräspaaluilla penkereen alhaisen stabiliteetin vuoksi.

Vaihtoehdon VE2 kustannukset ovat alustavan kustannusarvion mukaan 12,9 milj. euroa (alv 0 %).

Ympäristövaikutusten arviointi

Eri ympäristövaikutuksilla (esim. sosiaaliset vaikutukset, melu, luonnonvarojen käyttö) on erisuuntaiset ja laajuiset vaikutusalueet. Vaikutusalueet ovat erilaisia myös kussakin linjausvaihtoehdossa. Ympäristövaikutusten arvioinnissa keskityttiin kuitenkin ensisijaisesti hankkeen lähiympäristöön kohdistuviin vaikutuksiin.

Alustavasti arvioiden vaikutusalue ulottuu ratavaihtoehtojen maastokäytäviin, melu-, maisema- ja vesistövaikutusten osalta laajemmin Oriselän järven alueelle ja luonnonvarojen käytön osalta mahdollisesti vielä laajemmalle, ylikunnalliselle alueelle. Merkittävimmät maankäytölliset ja sosiaaliset vaikutukset kohdistuvat arvioiden mukaan suhteellisen rajatulle alueelle, linjausten välittömän läheisyyteen.

Alustavien arvioiden mukaan hankkeen merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät ainakin:

- VE1: vesistövaikutuksiin, maisemaan, meluun ja sosiaalisiin vaikutuksiin
- VE2: maisemaan, luonnonvarojen käyttöön ja sosiaalisiin vaikutuksiin
- VE0+: rakentamisen aikaisiin vaikutuksiin.

VE0+: Nykyinen ratalinja sijaitsee suunnittelualueella osin Oriselän vesistön rannassa, veteen täytetyllä penkereellä. Järven kaakkoiskulmassa ratalinja ylittää Penttilänlahden, jossa huono veden virtaus on mitä ilmeisimmin aiheuttanut rehevöitymistä ja veden laadun heikkenemistä. Varsinaisella suunnittelualueella ei ole voimassa yleiskaavaa eikä yksityiskohtaista detaljikaavaa. Oriveden keskustaajaman asemakaavoitetulla alueella rata noudattelee nykyistä linjausta. Vaihtoehdon alle ei ole jäämässä asuin- eikä muita rakennuksia. Oriselänniemessä, nykyisen radan kohdalla, on aiemmin sijainnut mahdollinen kivikautinen asuinpaikka. Asuinpaikka on kuitenkin tuhoutunut radan rakentamisen yhteydessä.

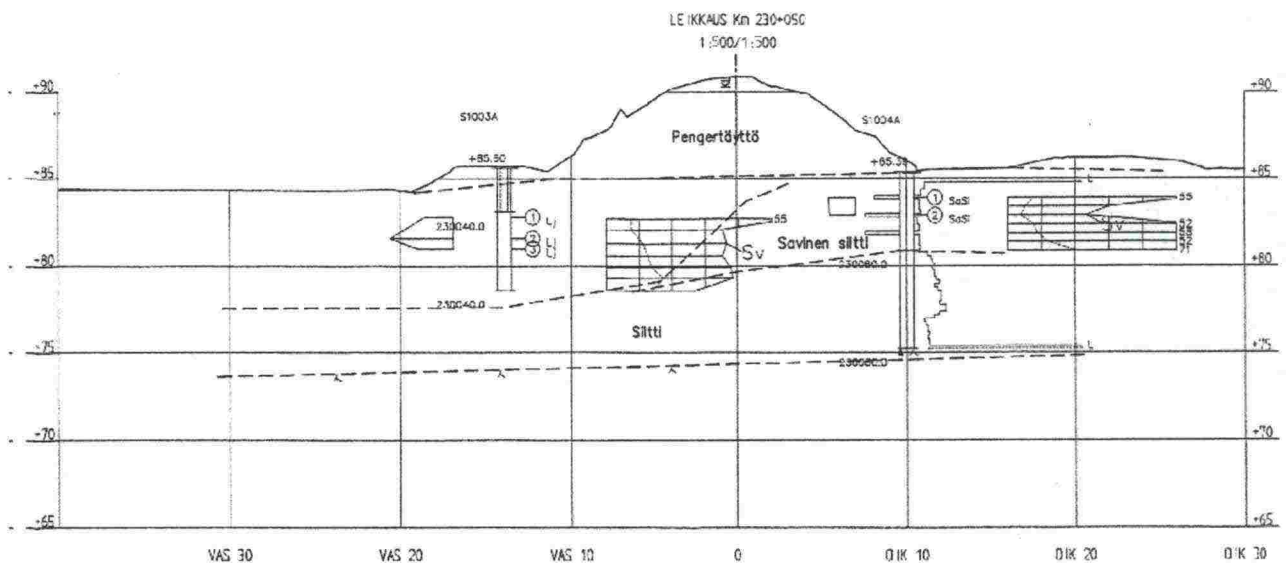
VE1: Osin vesistöön sijoittuva, vaihtoehdon VE1 mukainen linjaus vaatii toteutuessaan vesilain mukaisen luvan. Lisäksi vaihtoehdossa mahdollisesti toteutettavat pengerrykset vaativat runsasta maa-ainesten käyttöä. Linjaus on ongelmallinen myös melun leviämisen ja torjunnan kannalta. Vaihtoehdon alle ei ole jäämässä asuin- eikä muita rakennuksia. Linjauksen välittömässä läheisyydessä on kuitenkin yksi uudehko loma-asunto. Linjaus sijaitsee kokonaisuudessaan kunnan kaava-alueiden ulkopuolella.

VE2: Eteläinen linjausvaihtohto VE2 sijoittuu kallioiseen, topografialtaan voimakkaasti vaihtelevaan maastoon. Vaihtoehdon toteuttaminen vaatii huomattavia louhintaja täyttötöitä. Melun leviämisen kannalta vaihtohto on edullinen, sillä kallioselänteet toimivat luonnollisena melusuojana ja linjaus sijoittuu Lyytikälän kylän itäpuolelle. Vaihtoehdon VE2 alle on jäämässä yksi omakotitalo. Lisäksi linjaus pirstoo Oriselän eteläpuolen maa- ja metsätalousalueita sekä aiheuttaa jonkin verran haittaa maatalousliikenteelle. Vaihtohto sijoittuu yleis- ja asemakaava-alueiden ulkopuolelle.

2.1.4 Nykyisen ratalinjauksen pohjaolosuhteet

Km 229+920–km 230+060

Rata sijaitsee noin 6 m korkuisella penkereellä. Penkereen molemmilla puolilla kulkevat kapeat tiet. Teiden penkereet ovat noin 0,5–1,0 m korkuisia. SCC-Viatek Oy:n tekemien laskelmien mukaan kokonaisvarmuus nykytilanteessa vaarallisimmassa liukupinnassa on $F_{\text{kok}} = 1,28$. Vakavuuden parantamiseksi käyttökelpoisin keino on vastapenkereiden rakentaminen. Päällimmäisenä maakerroksena on noin 1 m paksuinen kerros silttiä. Silttikerroksen alapuolella on noin 5,4 m paksuinen kerros savista ja silttistä liejua (kuva 2.1:2). Vesipitoisuudet liejukerroksessa vaihtelevat välillä 38–76 %. Siipikairauksella mitatut suljetut leikkauslujuudet vaihtelevat välillä 14–46 kPa. Liejukerroksen alapuolella on silttiä, kohteesta tehty painokairaus on päättynyt kiveen tai kallioon 13,2 m syvyydellä maanpinnasta.



Kuva 2.1:2 Pohjatutkimusleikkaus Km 230+050:ltä (mittakaava 1:500).

Km 230+530 – km 230+640

Tällä kohden rata kulkee ympäröivään maanpintaan verrattuna noin 5 m korkealla penkereellä. Pengertäyttö ulottuu liejukerrokseen noin 2 m syvyydelle. Ratapenkereen sivuille on rakennettu matalat vastapenkereet (kuva 2.1:3). SCC-Viatek Oy:n tekemien laskelmien mukaan kokonaisvarmuus nykytilanteessa vaarallisimmassa liukupinnassa on $F_{\text{kok}} = 1,19$. Varmuutta voidaan parantaa vastapenkereitä korottamalla ja leventämällä. Päällimmäisenä maakerroksena on 4,0–6,8 m paksuinen kerros liejuista silttiä.

Liejuisen silttikerroksen leikkauslujuudet kartiokokeella määritettynä ovat välillä 11–39 kPa ja vesipitoisuudet välillä 40–164 %. Liejuisen siltin alapuolella on 4,8–8,0 m silttiä. Silttikerroksen kartiokokeella määritetyt leikkauslujuudet ovat 32–76 kPa ja vesipitoisuudet 20–38 %. Silttikerroksen alapuolella on kittamaakerroksia. Kairaukset on lopetettu määräsyyvyteen 11,6–12,5 m syvyydellä maanpinnasta.



Kuva 2.1:3 Näkymä km 230+600:ltä luoteeseen.

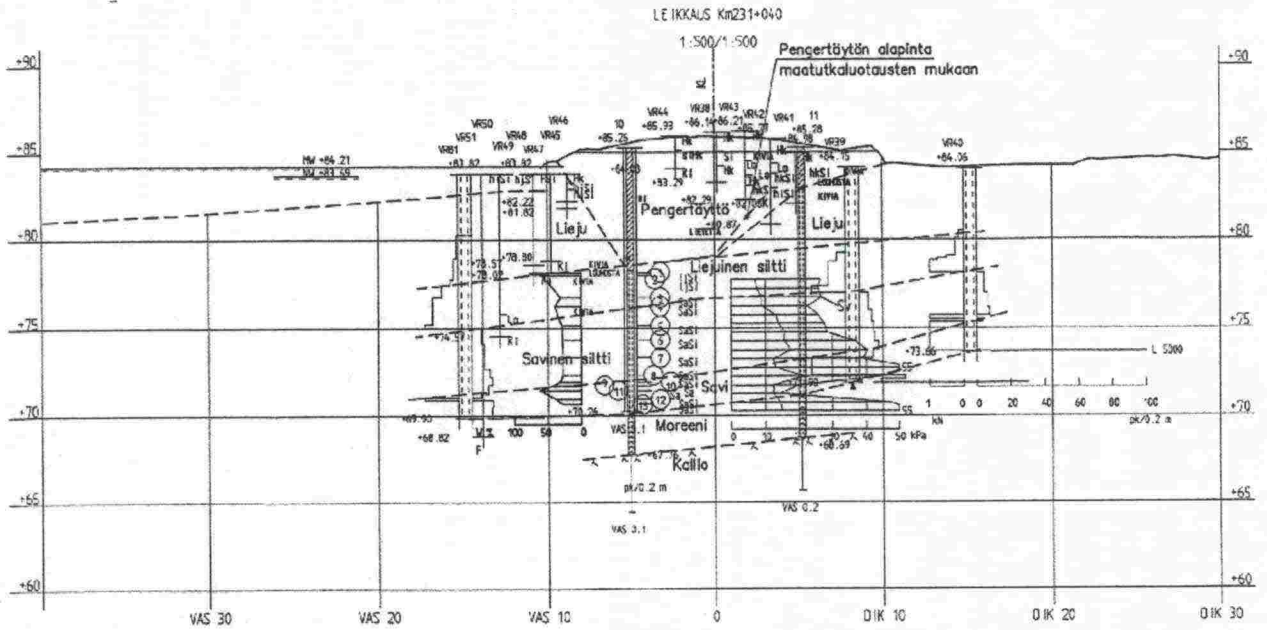
Km 230+900 – km 231+200

Ratapenger on pääosin noin 1,2–1,9 m ympäröivän maanpinnan yläpuolella (kuva 2.1:4). SCC-Viatek Oy:n tekemien laskelmien mukaan kokonaisvarmuus nykytilanteessa vaarallisimmassa liukupinnassa on $F_{\text{kok}} = 1,33$. Pengertä ei voi korottaa eikä levittää ilman, että haitallisia siirtymiä alkaa tapahtua. Tällä hetkellä ei kuitenkaan todennäköisesti ole välitöntä sortumavaaraa. Mikäli stabiliteetti halutaan nostaa arvoon $F_{\text{kok}} \geq 1,8$, kohteeseen tulee rakentaa korvaava silta tai paalulaattarakenne.



Kuva 2.1:4 Näkymä km 230+950:ltä itään.

Leikkausten km 231+010 ja km 231+040 kohdalla radalle tehty pengertäyttö ulottuu liejukerroksen alapinnan tasoon 6–8 m leveydeltä. Täytön alapinta on vasemmalle kalteva 10° – 20° . Täytön paksuus on vasemmalla puolella 6–7 m ja oikealla puolella 4–6 m. Ylimpänä maakerroksena on liejua. Liejukerroksen paksuus on 0,8–5 m. Liejun alapuolella on liejuista silttiä 0,8–2,7 m (kuva 2.1:5).



Kuva 2.1:5 Pohjatutkimusleikkaus Km 231+040:ltä (mittakaava 1:500).

Siipikairalla määritetyt suljetut leikkauslujuudet tässä kerroksessa ovat välillä 22–29 kPa ja vesipitoisuudet vaihtelevat välillä 30–80 %. Kolmiakiaalikokeen perusteella tämän kerroksen tehokas kitkakulma on 28° ja koheesio on 3,2 kPa muodonmuutostason ollessa 1,6 %. Liejuisen siltin alapuolella on kaksi kerrosta savista silttiä. Näiden kerrosten yhteispaksuus on 2,8–6,0 m. Siipikairalla määritetyt suljetut leikkauslujuudet ovat välillä 15–55 kPa. Vesipitoisuudet vaihtelevat välillä 30–65 %. Alemmasta savisesta silttikerroksesta tehtyjen kolmiakiaalikoekiden perusteella maakerroksen tehokas kitkakulma on $29,2^\circ$ ja koheesio 0 kPa muodonmuutostason ollessa 1,8 %. Alimpana maakerroksena on moreenia. Painokairaukset ovat päättyneet määräsyyvyteen, kiveen tai kallioon 6,8–16,6 m syvyydellä maanpinnasta. Kalliopinta on havaittu 16–18 m syvyydessä tasolla +67,7–69,1.

Km 231+200–km 231+600

Ratapenger on pääosin noin 1,2–1,9 m ympäröivän maanpinnan yläpuolella (kuva 2.1:6). Penkereen vakavuus on riittävä. Radan rakennekerrosten ja pengertäytön kokonaispaksuus on 2–3 m. Radan molemmille puolille on rakennettu vastapengerit noin 10 m etäisyydelle radan keskilinjasta.



Kuva 2.1:6 Näkymä km 231+400:ltä itään.

Ylimpänä maakerroksena on liejuista silttiä. Liejuisen silttikerroksen paksuus on noin 5 m. Pengertäytön alla liejuista silttiä on 0,5–4 m. Siipikairalla määritetyt suljetut leikkauslujuudet ovat välillä 7–15 kPa ja vesipitoisuudet ovat välillä 65–120 %. Kolmiakσιαalikokeella määritetyt kitkakulman ja koheesion arvot noin 2–3 % muodonmuutostasolla eri kerroksissa on koottu taulukkoon 2.1:2.

Taulukko 2.1:2 Kolmiakσιαalikokeella määritetyt kitkakulman ja koheesion arvot noin 2–3 % muodonmuutostasolla eri kerroksissa.

Km	Tehokas Kitkakulma (°)	Koheesio (kPa)	Muodonmuutostaso (%)
231+240	9,2	18,6	2,1
231+340	13,1	16,4	2,7
231+600	24,7	9,1	3,4

Liejuisen siltin alapuolella on savista silttiä 2,2–5,4 m. Siipikairalla määritetyt suljetut leikkauslujuudet ovat välillä 9–22 kPa ja vesipitoisuudet 25–47 %. Kolmiakσιαalikokeella määritetyt kitkakulman ja koheesion arvot noin 1–3 % muodonmuutostasolla eri kerroksissa on koottu taulukkoon 2.1:3.

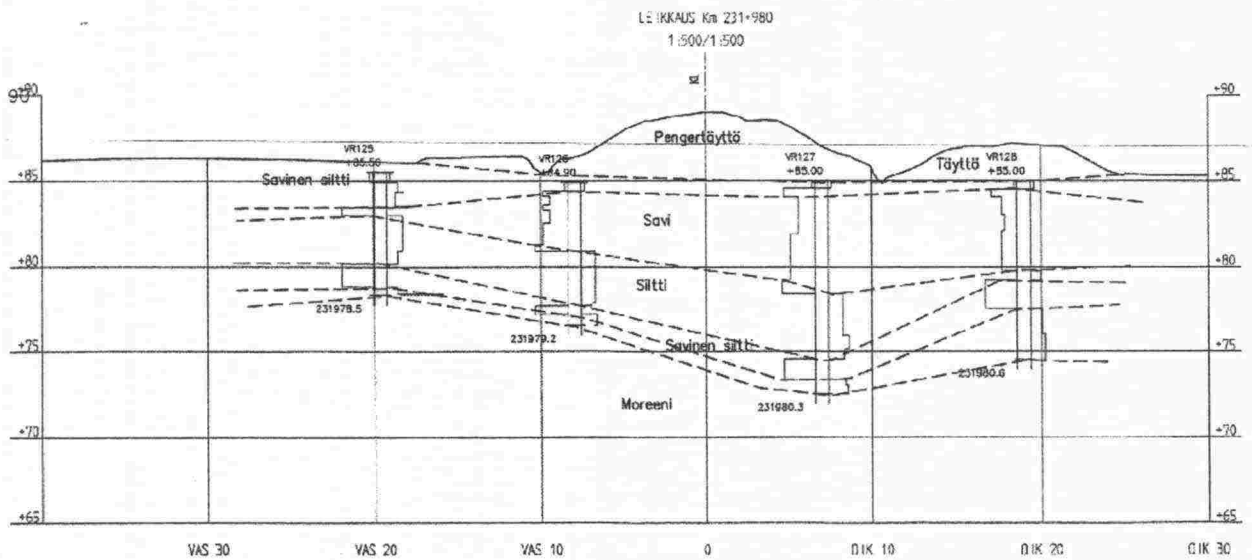
Taulukko 2.1:3 Kolmiakσιαalikokeella määritetyt kitkakulman ja koheesion arvot noin 1–3 % muodonmuutostasolla eri kerroksissa.

Km	Tehokas Kitkakulma (°)	Koheesio (kPa)	Muodonmuutostaso (%)
231+240	26,9	7,7	3,0
231+250	28,2	0,7	1,6
231+340	22,2	2,3	1,1

Savisen siltin alla on kaksi silttikerrosta. Kairaukset ovat päättyneet määräsyvyyteen tai kallioon 10–13,6 m syvyydellä maanpinnasta.

Km 231+900–km 232+000

Rata kulkee noin 3 m korkuisella penkereellä. Radan oikealla puolella on lähes rata-penkereen korkuinen tiepenger ja vasemmalla puolella pehmeikköalue. SCC-Viatek Oy:n tekemien laskelmien mukaan kokonaisvarmuus nykytilanteessa vaarallisimmassa liukupinnassa on $F_{\text{kok}} = 1,11$. Kohteesta ei ole tehty näytteenottoa, maaperäkuvaus perustuu aiemmissa suunnitteluvaiheissa tehtyihin tutkimuksiin. Päällimmäisenä maakerroksena on noin metrin paksuinen silttikerros. Silttikerroksen alapuolella on liejusavikerros (kuva 2.1:7). Savikerroksen paksuus kasvaa vasemmalta oikealle siten, että 20 m mittalinjasta vasemmalle kerroksen paksuus on 0,3 m ja ratapenkereen oikean alareunan kohdalla kerroksen paksuus on 5 m. Liejusavikerroksen alla on silttikerros, jonka paksuus vaihtelee 2,8–3,6 m välillä. Ratapenkereen vasemmalla puolella silttikerroksen alapuolella on 1,2–1,6 m paksuinen savikerros. Kairaukset on lopetettu määräsyvyyteen 5,2–11,0 m syvyydellä maanpinnasta.



Kuva 2.1:7 Pohjatutkimusleikkaus Km 231+980:ltä (mittakaava 1:500).

						901–1000	8		
						1001–1004	4		
						0–1004	341	4	
232					232	0–100	2		
0					(kiitettävä)	101–200			
						201–300	6		
						301–400			
						401–500	12		
						501–600	11		
						601–700	15		
						701–800			
						801–900			
						901–1000			
						1001–1001			
						0–1001	46	0	

Taulukko 2.1:5 Oriselän kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset C, D ja *-luokkien virheiden osalta (24.8.2002 ja 15.4.2004).

ORISELKÄ									
24.8.2002					15.4.2004				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
229 (epätyydyttävä)	22–100				229 ()				
	101–200								
	201–300	18	6						
	301–400	45	10						
	401–500	100	38						
	501–600	100	45						
	601–700	33	8						
	701–800	12	2						
	801–900								
	901–977								
	22–977	308	109						
230 (hyvä)	0–100				230 ()				
	101–200	10							
	201–300	31							
	301–400	20							
	401–500								
	501–600	2							
	601–700	2							
	701–800	10	2						
	801–900	10							
	901–995	6							
	0–995	91	2						
231 (hyvä)	0–100	10			231 (kiitettävä)	0–100	35		
	101–200	34				101–200	57		
	201–300	18				201–300	96		

	301-400	19	2			301-400	87		
	401-500	4				401-500	57		
	501-600	?	?	?		501-600	83		
	601-700	?	?	?		601-700	81		
	701-800	?	?	?		701-800			
	801-900	?	?	?		801-900			
	901-1000	?	?	?		901-1000	3		
	1001-1004	?	?	?					
	0-1004	?	?	?					
						-			
	0-1000					0-1000	499	0	0
232 (hyvä)	0-100	2			232 (kiitettävä)	0-100			
	101-200	2				101-200			
	201-300	9				201-300			
	301-400					301-400	2		
	401-500	15				401-500	11		
	501-600	13				501-600	7		
	601-700	22	2			601-700	8		
	701-800	2				701-800	10		
	801-900					801-900			
	901-1000					901-1000	3		
	1001-1001								
	0-1001	65	2			-			
						0-1000	41	0	0
233 (hyvä)	0-100	7			233 ()				
	101-200	10	2						
	201-300	8							
	301-400								
	401-500								
	501-600	?	?	?					
	601-700	?	?	?					
	701-800	?	?	?					
	801-900	?	?	?					
	901-1000	?	?	?					
	1001-1001	?	?	?					
	0-1001	?	?	?					

2.1.6 Johtopäätökset kohteen tilanteesta

Tarkasteltavalla rataosalla on viisi pehmeikköä: Kannuksenlahti (km 230+000...230+100), Mustalahti (km 230+500...230+560), Penttilänlahti (km 231+000...231+300), Paltaanlahti (km 231+500...231+700) ja Paltaanlahti (km 231+900...231+940). Pehmeiköillä luonnolliset maakerrokset vesistön lahden pohjukoissa ovat liejua ja liejuista silttiä, jonka alla on silttiä ja savista silttiä. Alimpana maakerroksena on moreenia. Pehmeikköjen välissä maapohja on pääasiassa moreenia ja kalliota.

SCC-Viatek Oy:n tekemien vakavuustarkastelujen mukaan Oriselän kohdalla radan vakavuus ei ole riittävä ja radan siirtymiä voi tapahtua. Rata ei ilmeisesti kuitenkaan ole välittömässä sortumavaarassa. Ongelmallisin osuus on km 229+920...km 231+200, jossa pengertäyttö on osittain syrjäyttänyt alla olevan liejusaven. Riittämättömän

stabiliteetin vuoksi rataa ei voida korottaa tai ratapengertä leventää. Nykyisen radan parantaminen on mahdollista rakentamalla varovaista paalutustapaa käyttäen silta nykyisen radan paikalle tai viereen (VE0+). Mikäli nykyisen radan parantaminen ei onnistu, vaihtoehtoina on tutkittu myös uusia ratalinjoja, joilla ongelmallinen rataosuus voidaan ohittaa. Uusia linjauksia on tutkittu sekä nykyisen radan pohjois- (VE1 ja VE3) että eteläpuolelta (VE2):

- VE1 → VE1 on geometrialtaan huomattavasti nykyistä rataa parempi. VE1:n linjaus on 2400 m pitkä. Se alkaa km:ltä 229+830 ja päättyy km:lle 232+356. Se lyhentää noin 150...200 m ratalinjaa. Pienin kaarresäde on 1400 m. Kallistuvakorisisella junalla voidaan raidegeometrian puolesta ajaa 200 km/h. Vaihtoehto VE1:n rataoikaisulinjaus vaatii kaksi uutta siltarakennetta. Uudet siltarakenteet voidaan rakentaa häiritsemättä raideliikennettä.
- VE3 → Mikäli radan mitoitusnopeutena käytetään 120 km/h, voidaan linjaus tehdä lähemmäksi nykyistä raidetta. VE3:n linjaus on pituudeltaan 1448 m, se alkaa km:ltä 230+540 ja päättyy km:lle 232+200. Pienin kaarresäde on 800 m. Kallistuvakorisisella junalla voidaan raidegeometrian puolesta ajaa 160 km/h.
- VE2 → VE2:n ratalinjaus on pituudeltaan 4200 m. Se alkaa km:ltä 229+660 ja päättyy km:lle 233+865. Pienin kaarresäde on 1400 m. Kallistuvakorisisella junalla voidaan raidegeometrian puolesta ajaa 200 km/h.

Radantarkastustulosten tarkastelusta kävivät ilmi seuraavat asiat:

- Kohdat, joissa oli eniten virheitä, näyttävät olevan km 229 ja km 231:
 - Km:llä 229 virheet kasaantuvat välillä 300–700 m. Tämä väli on kuitenkin tarkasteltavan rataosan ulkopuolella.
 - Km:llä 231 virheet kasaantuvat välillä 0–700 m.
 - Välillä 0–200 ratapenger on pääosin noin 1,2–1,9 m ympäröivän maanpinnan yläpuolella. Kokonaisvarmuus nykytilanteessa vaarallisimmassa liukupinnassa on $F_{\text{kok}} = 1,33$. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseessä oleva kilometriväli on yksi varallisimmista osuuksista. Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että leikkausten km 231+010 ja km 231+040 kohdalla radalle tehty pengertäyttö ulottuu liejukerroksen alapinnan tasoon 6–8 m leveydeltä. Täytön alapinta on vasemmalle kalteva 10° – 20° . Täytön paksuus on vasemmalla puolella 6–7 m ja oikealla puolella 4–6 m. Ylimpänä maakerroksena on liejua. Liejukerroksen paksuus on 0,8–5 m. Liejun alapuolella on liejuista silttiä 0,8–2,7 m. Liejuisen siltin alapuolella on kaksi kerrosta savista silttiä. Näiden kerrosten yhteispaksuus on 2,8–6,0 m. Alimpana maakerroksena on moreenia. Painokairaukset ovat päättyneet määräsyyvyteen, kiveen tai kallioon 6,8–16,6 m syvyydellä maanpinnasta. Kallio-pinta on havaittu 16–18 m syvyydessä tasolla +67,7–69,1.
 - Välillä 200–600 ratapenger on pääosin noin 1,2–1,9 m ympäröivän maanpinnan yläpuolella. SCC-Viatek Oy:n tekemien laskelmien mukaan penkereen vakavuus on riittävä. Radan rakennekerrosten ja pengertäytön kokonaispaksuus on 2–3 m. Ylimpänä maakerroksena on liejuista silttiä. Liejuisen silttikerroksen paksuus on noin 5 m. Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että pengertäytön alla liejuista silttiä on 0,5–4 m. Liejuisen

siltin alapuolella on savista siltiä 2,2–5,4 m. Savisen siltin alla on kaksi silttikerrosta. Kairaukset ovat päättäneet määräsyvyyteen tai kallioon 10–13,6 m syvyydellä maanpinnasta.

- Kohta, jossa oli vähiten virheitä, näyttää olevan km 230. Tämä kohta saattaa olla vakavuudeltaan vaarallisin.
 - Välillä 0–60 m rata sijaitsee noin kuuden metrin korkuisella penkereellä. SCC-Viatek Oy:n tekemien laskelmien mukaan kokonaisvarmuus nykytilanteessa vaarallisimmassa liukupinnassa on $F_{\text{kok}} = 1,28$. Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että päällimmäisenä maakerroksena on noin metrin paksuinen kerros siltiä. Silttikerroksen alapuolella on noin 5,4 m paksuinen kerros savista ja siltistä liejua. Liejukerroksen alapuolella on siltiä, kohteesta tehty painokairaus on päättynyt kiveen tai kallioon 13,2 m syvyydellä maanpinnasta.
 - Välillä 530–640 m rata kulkee ympäröivään maanpintaan verrattuna noin 5 m korkealla penkereellä. Pengertäyttö ulottuu liejukerrokseen noin 2 m syvyydelle. SCC-Viatek Oy:n tekemien laskelmien mukaan kokonaisvarmuus nykytilanteessa vaarallisimmassa liukupinnassa on $F_{\text{kok}} = 1,19$. Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että päällimmäisenä maakerroksena on 4,0–6,8 m paksuinen kerros liejusta siltiä. Liejuisen siltin alapuolella on 4,8–8,0 m siltiä. Silttikerroksen alapuolella on kitkamaakerroksia. Kairaukset on lopetettu määräsyvyyteen 11,6–12,5 m syvyydellä maanpinnasta.

Näyttää siltä, että radantarkastustulosten perusteella ongelmallisimmiksi osoittautuneet paikat eivät ole yhteneviä pohjasuhteiden perusteella stabiliteetiltaan ongelmallisimmiksi otaksuttujen paikkojen kanssa.

2.2 Suurisuon rataoikaisu

2.2.1 Käytettävissä olleet asiakirjat

Suurisuon kohteeseen liittyvästä aineistosta löytyvät seuraavat Geomap Oy:n laatimat asiakirjat:

- Geotekninen suunnitelmaselostus liitteineen (laboratoriotutkimustulokset ja tutkimuspisteiden koordinaatit).
- Lausunto kalliooperän rakennettavuudesta koskien valtionrautateiden Lahti–Luumäki-rataosuuden parannuksen yleissuunnitelmaan liittyvän Suurisuon oikaisun linjavaihtoehtoja.
- Yleissuunnitelma, pohjatutkimukset ja pohjarakennussuunnittelu nopeuden ja tason nostosta välillä Lahti–Luumäki.

Lisäksi käytettävissä olivat seuraavat piirustukset:

- Suunnitelmakartat, yleiskartta, pohjatutkimuskartta, kalliotutkimuskartta.
- Geomap Oy:n tuottamat VE1:n pohjatutkimuspituusleikkaukset 174+500–176+500, 176+500–177+900, 177+900–179+100, 179+100–180+200.
- Geomap Oy:n tuottamat poikki- ja pituusleikkaukset eri kohdilla.
- Itä-Suomen ratakeskuksen suunnitelmakartat: km 174+500–183+500, km 174+542–176+060, km 176+060–177+578, km 177+578–179+095, km 179+095–180+624.

- Rautatiehallituksen geoteknillisen jaoston vanhat piirustukset (1975, 1974, 1964, 1963, 1950, 1935, 1924 ja 1922): ajojohtopylväiden paikat, pituus- ja poikki-leikkaukset.
- Siltojen suunnitelmaan liittyvät Geomap Oy:n piirustukset: pituus- ja poikki-leikkaukset.

Lisäksi radantarkastustuloksia on ollut käytettävissä vuoden 1998 syksystä alkaen.

Tutkija Fabrizio Brecciaroli kävi oikaisukohteen maastossa 18.11.2003.

2.2.2 Suunnittelukohteen yleiskuvaus

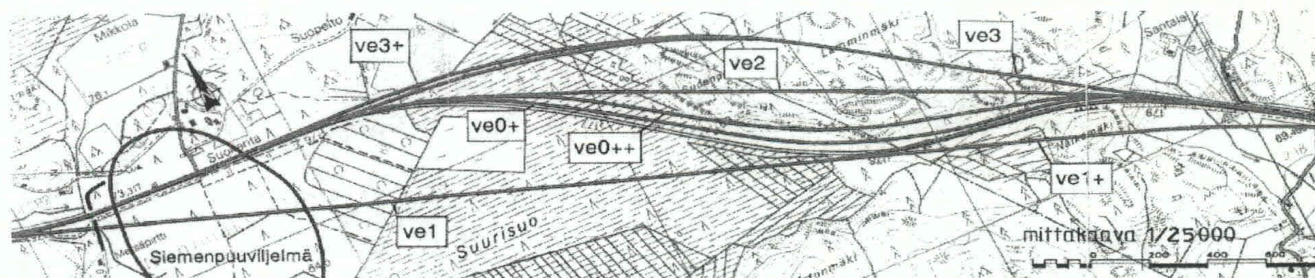
Suurisuo

Suunnittelukohte sijaitsee Lahti–Luumäki-rataosalla noin 45 km Lahdesta itään. Rataoikaisun suunnittelualue sijaitsee kilometrivälillä noin 174+800–180+100 Iitin ja Kuusankosken kunnissa.

Rataosa on kaksiraiteinen ja sähköistetty. Suunnittelualueella nykyisellä radalla on yksi tasoristeys km 175+550:llä. Alueen alussa on Viittamäen alikulkusilta ja alueen lopussa on Inginmaan ylikulkusilta.

Oikaisun alue on asumatonta suoaluetta. Laaja Suurisuo ei ole luonnontilassa eikä biologisesti kiinnostava. Suo on ojitettu turvetuotantoalue. Suon itäpuolella on maisemassa selvästi erottuva komeaseinäinen rapakivikallioalue, Sudenpesänvuori. Jyrkenteen alla on joitakin kallionalueelle ominaisia kasveja kuten lehtokuusamaa ja kevätlinnunhernettä. Kallion itäpuolella on melko rehevää käenkaalimustikkatyypin metsää, jossa oli runsaasti hirven jälkiä. Radan eteläpuolella lähellä Inginmaata on viljelty peltoaukea. Viittamäessä on arvokas siemenpuuviljelys. Lamminmäelle on rakennettu kaato- paikka.

Suurisuon kohdalla rata ja vastapenkereet ovat aikojen kuluessa painuneet runsaasti ja radan korjaustarve on edelleen jatkuva. Nykyisen radan parantamiseen on tutkittu kahta vaihtoehtolinjaa VE0+ ja VE0++. Näiden geometria on lähes sama kuin nykyisellä linjalla. Mikäli nykyisen radan parantaminen ei onnistu, vaihtoehtoina on tutkittu myös uusia ratalinjoja (kuva 2.2:1), joita suunniteltaessa ongelmallisia paikkoja on kierretty sekä pohjois- (VE2, VE3 ja VE3+) että eteläpuolitse (VE1 ja VE1+).



Kuva 2.2:1 Vaihtoehtojen asemapiirros (mittakaava 1:25 000).

Uusikylä itäpuoli, Mankala 1 ja Mankala 2

Suunnittelukohde sijaitsee Lahti–Luumäki-rataosalla noin 20 km Lahdesta itään. Rataoikaisun suunnittelualue sijaitsee kilometrivälillä noin 151–164 Nastolan ja Iitin kunnassa. Oikaisuosuudet sijaitsevat Salpausselän harjumuodostuman etelärinteellä lähellä harjun lakea.

Rataosa on kaksiraiteinen ja sähköistetty.

Kaikki oikaisuosuudet sijaitsevat pohjavesialueella. Pohjavedensuojaus tarvitaan. Alue on pääosin sulkeutunutta metsämaisemaa ja maastonmuodoltaan epätasainen.

Koria ja Taavetti

Koria kuuluu Kouvolan kaupunkiin ja sijaitsee noin 5 km Kouvolasta länteen. Koria on ympäristöhallituksen kartoissa esitetty pohjaveden suoja-alueeksi. Pohjaveden saastumisriski on oikaisuosuudella paksun savikerrostuman vuoksi vähäinen, joten pohjaveden suojausta ei tarvittane.

Taavetti kuuluu Luumäen kuntaan ja sijaitsee Kouvolan ja Lappeenrannan välillä noin 40 km Lappeenrannasta länteen. Maaperä alueella on erittäin routivaa, joten oikaisuosuuksien liittymiskohdissa tehdään nykyisellä radalla routasuojaus suulakepuristetuilla polystyreenilevyillä. Taavetti ei ole pohjavesialuetta, joten pohjavesisuojausta ei tarvita.

2.2.3 Käsillä olevat ongelmat ja ratkaisuvaihtoehdot

Suurisuo

Suurisuon oikaisun tarkoituksena on painuma- ja stabiliteettiongelmien korjaaminen linjaamalla rata uuteen paikkaan. Nykyinen rata on varsinaisella suoalueella rakennettu hirsiarinaperustusten varaan, joka ei enää kannata rataa painumatta. Radan vakavuuden turvaamiseksi suolle on rakennettu leveät vastapenkereet. Rata ja vastapenkereet ovat aikojen kuluessa painuneet runsaasti ja radan korjaustarve on edelleen jatkuva. Tästä huolimatta ainakin vuonna 1995 radan nykyinen linjaus mahdollisesti tavoitenopeuksilla liikennöimisen.

Vaihtoehtojen suunnittelun periaatteena on löytää ratageometria- ja rakennettavuusvaatimukset täyttävä, mahdollisimman lyhyt ja edullinen linjaus. Vaihtoehtoja suunniteltaessa pehmeikköä on kierretty sekä pohjois- että eteläpuolitse.

Nykyisen radan vieressä 16–60 m etäisyydellä on tutkittu kahta vaihtoehtolinjaa VE0+ ja VE0++. Näiden geometria on lähes sama kuin nykyisellä linjalla.

Vaihtoehtolinjat VE1 ja VE1+ on sijoitettu suoriksi nykyisen radan eteläpuolelle. VE1 liittyy nykyisen rataa pehmeikköosuuden jälkeen, VE1+ on suunniteltu pidemmäksi suoraksi liittyen nykyiseen rataa Nälkämäen leikkauksen jälkeen.

Vaihtoehtolinja VE2 on linjattu yhdistämällä painumaosuuden molemminpuoliset kaartet suoralla. Linja kulkee suoraan Sudenpesänvuoren ja Lamminmäen alueiden läpi

jopa 40 m korkeassa ja huomattavan pitkässä kallioleikkauksessa. Leikattavat kalliomassat ovat heikkolaatuisia ja kelpaamattomia murskattuina raidesepeliksi tai eristys- ja välikerroksen materiaaliksi. Käyttö penkereisiin ja täyttöihin ei ole kannattavaa sijainnin eli kuljetuskustannusten vuoksi. Tunnelin tekeminen ei ole ratateknisesti kannattavaa.

Vaihtoehtolinjat VE3 ja VE3+ on laadittu kiertämään pehmeikkö pohjoispuolitse kauempaa nykyisestä radasta siten, että maa- ja kallioleikkausta tarvitaan vähemmän kuin VE2:ssa. VE3+ erkanee nykyisestä radasta aikaisemmin kuin VE3, jolloin rata voidaan perustaan uudelleen pidemmällä osuudella nykyisen ratapenkereen vieressä.

Rakentamisen kannalta ongelmallista on suon heikko kantavuus, joka edellyttää paalutettua laattaa. Turvekerroksen paksuus on 2...6 m ja sen alla on 5...10 m erittäin pehmeää savea tai liejua. Kova pohja on pahimmillaan yli 40 m syvyydessä, joten paalupituudet eteläisillä vaihtoehdoilla ovat pehmeikön keskiosalla erittäin suuret.

Kallioleikkaukset ovat pohjoisissa vaihtoehdoissa syvät ja edellyttävät erikseen suunniteltavia lujituksia tai esimerkiksi leikkauksen porrastamista. Louhemassamäärät muodostuvat suuriksi ja mikäli louheelle ei ole ositettavissa hyötykäyttöä, on kallioon tehtävä suuri avoleikkaus kallis ratkaisu. Eteläisissä vaihtoehdoissa kallioleikkaus on matalampi sekä lyhyempi, jolloin massojen ylijäämä sekä kallioseinämiä lujitustarve on vähäisempi.

Vaihtoehdoista VE1+ on pitkän suoran ja loivan kaarteen vuoksi edullisin ja kaikki mitoitussarvot ovat selvästi alle raja-arvojen. VE1+ on toteutettavissa vaiheittain siten, että ensin rakennetaan suon ylitys ja loppuosa oikaistaan kallion läpi myöhemmin. Silloin ei kuitenkaan voitaisi hyödyntää kallioleikkausta massanvaihtojen täyttöinä.

Pohjoiset vaihtoehdot ovat myös geometrisesti hyviä, keskenään samanarvoisia, kuten myös VE1. Nykyisen radan viereen parannettavat vaihtoehdot ovat geometrisesti heikoimpia minimikaartein toteutettuina. Suuret ja rakenteellisesti ongelmalliset kallioleikkaukset tekevät pohjoiset vaihtoehdot vähiten suositeltaviksi, vaikka pehmeikön osuus on niissä pienempi kuin eteläisissä vaihtoehdoissa.

Kalliorakentamisen kannalta hankalin on vaihtoehto VE2, joka lisäksi läpäisee ympäristöllisesti ja geologisesti arvokkaan Sudenpesävuoren rapakivijyrkänteen. Radan tasauksen nosto kallion kohdalla vähentää irrotettavan kallion määrää ja kaikki louhe voitaisiin käyttää täyttämällä pehmeikkö pohjaan saakka. Käytettäessä perustamistapana pelkästään pohjantäyttöä kaivannon teosta tulee niin paljon läjitysmaata, ettei se ole taloudellisesti kannattavaa.

Ympäristöllisesti mittavat leikkaukset erottuvat selvinä viiltoina maisemassa toisin kuin matalalle tasattu suon ylitys. Lisäksi pohjoiset vaihtoehdot vaikeuttavat eläinten kulkua. VE1+:n lopussa pellon ylittävä pengeri erottuu maisemassa.

Arvioidulta rakennuskustannuksiltaan edullisin on lähelle nykyistä linjaa sijoittuva VE0+, tosin VE0++ ja suon läpikulkeva VE1 ovat samaa suuruusluokkaa. Kaikkien kallein arvioiduilta toteuttamiskustannuksiltaan on kallion suoraan läpäisevä VE2.

Jatkosuunnitteluun on valittu suon suoraan ylittävä eteläinen vaihtoehto VE1+.

Uusikylä itäpuoli, Mankala 1 ja Mankala 2

Uusikylässä oikaisu on kantavalla pohjalla eikä vaadi pohjavahvistuksia. Rakennekerrokset voidaan tehdä humuskerroksen poiston jälkeen suoraan maanvaraan. Pohjavesisuojaus on tehtävä uuden linjauksen osalta. VE1 radan pohjoispuolella on suojauksen kannalta ongelmaton. Eteläinen VE2 on vaikea suojata, koska rata tulee jyrkkään harjun rinteeseen.

Mankalassa oikaisu on kantavalla pohjalla, eikä vaadi pohjavahvistuksia. Mankalan itäisen oikaisun VE1 on harjun laella syvässä leikkauksessa, leikkauksen leveys 40–50 m. VE2 edellyttää valtatie 12 siirtoa. Oikaisuosuus sijaitsee pohjavesialueella, joten pohjavedensuojaus on tehtävä.

Koria ja Taavetti

Geomap Oy:n alkuperäisten suunnitelmien mukaan nykyinen rata on Korian kohdalla saavuttanut yli 90 % konsolidaatioasteen. Mikäli radan tasausta ei koroteta, nykyinen rata ei vaadi pohjavahvistusta. Oikaisukohdalla uusi ratapenger vaatii sekä kantavuuden että painumien vuoksi pohjavahvistusta kilometrivälillä 184+220...184+920. Pengerlaattaa tulee suureen paalupituuden vuoksi kalliiksi. Pohjavahvistusratkaisuna ehdotetaan käytettäväksi pilaristabilointia.

Geomap Oy:n alkuperäisten suunnitelmien mukaan Taavetin oikaisuosuudella radan stabiliteetti on riittävä ja pohjasuhteet ovat melko kantavia, mutta uuden penkereen rakentaminen edellyttää painumien hallintaa. Hyvä pohjavahvistusratkaisu on esikuormitus. Kahta vaihtoehtoa on tutkittu. VE1 edellyttää melko suuren puronuoman siirtoa noin 150 m matkalla ja radan stabiliteetti on tarkistettava. VE2, joka risteää nykyisen radan kahdessa kohtaa, on rakentamisen kannalta vaikea, koska lähellä nykyistä rataa tehtävä esikuormitus saattaa aiheuttaa painumia liikenteessä olevaan rataan.

2.2.4 Nykyisen ratalinjauksen pohjaolosuhteet

Suurisuo

Suurisuon alueella pohjasuhteet vaihtelevat erittäin voimakasti.

Km 174+800 – km 175+380

Savi-silttikerrostuman paksuus on 10–15 m. Pinnassa on paksu, kantava kuivakuori ja pehmeät kerrokset ovat ohuita ja vuorottelevat siltti-hiekkakerrosten kanssa. Ratapenkereen korkeus on alueella enimmillään 4–5 m. Geomap Oy:n alkuperäisten suunnitelmien mukaan kantavuus on kuitenkin riittävä. Eteläisen vastapenkereen vieressä kulkee soratie. Rata-alueen ulkopuolella on metsää ja avoimia peltoja.

Km 175+380 – km 175+770

Savi-silttikerrostuman paksuus on 5–14 m. Pinnassa on 3–4 m kuivakuorta ja tämän alla pehmeää savea 2–11 m. Alimpana on tiivis hiekka-moreeni, johon kairaukset ovat tunkeutuneet enintään 5 m. Ratapenkereen korkeus on 2,5–5 m. Geomap Oy:n alkuperäisten suunnitelmien mukaan kantavuus ei ole koko alueella riittävä. Eteläisen vasta-

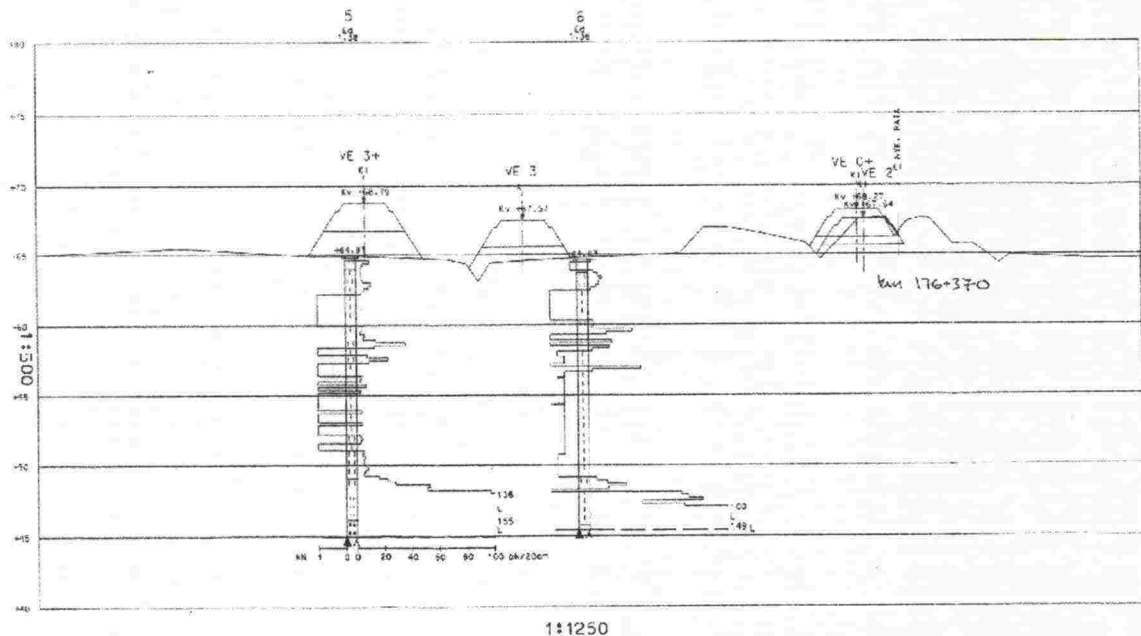
penkereen vieressä kulkee soratie. Rata-alueen ulkopuolella on metsää ja avoimia peltoja. Alueella on siemenpuuviljelys. Km 175+550:llä on tasoristeys.

Km 175+700 – km 175+930

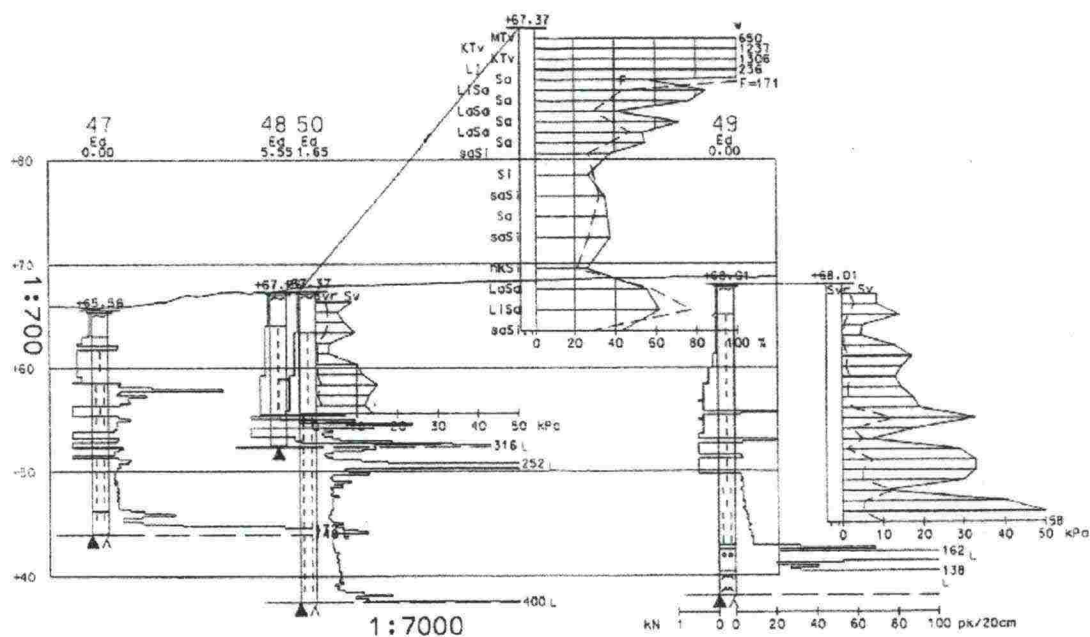
Alueella kallio on lähellä pintaa. Ratalinjan pohjoispuolella on pieni kalliopaljastuma. Pinnassa on savea ja silttiä 0,5–4,5 m ja tämän alla on tiivis 2–4 m paksu kitkamaakerros kallion päällä. Ratapenger on melko matala ja ympäröivää maastoa alempana. Rata-alueen ulkopuolella on enimmäkseen metsää.

Km 175+930 – km 177+420

Tälle paaluvälille sijoittuu varsinainen suoalue (kuva 2.2:2 ja 2.2:3). Kuivakuorta ei osuudella esiinny. Osuuden alku- ja loppupäässä turve-liejukerrostuman paksuus on 0–3 m ja turpeen alla on 2–10 m pehmeää savea. Keskivälillä osuutta, noin km 176+200 – km 177+350, turve-liejukerrostuman paksuus on 3–6 m. Turpeen vesipitoisuus vaihtelee 650–1300 % ja siipikairalla mitattu leikkauslujuus on 6–10 kPa. Savi-silttikerrostuman paksuus on 5–30 m. Kerrostuman vesipitoisuus on 30–85 % ja siipikairalujuus kerrostuman yläosassa on 5–15 kPa ja alaosassa 10–50 kPa. Kerrostuma on suurimmaksi osaksi kerrallista Baltian-jääjärven savea, mutta paksuja liHAVAN saven kerroksia tavataan vielä yli 25 m syvyydessä. Kitkamaan yläpinta on 5–36 m syvyydessä. Hiekka-moreenikerrostuma on enimmäkseen erittäin tiivistä. Kairaukset ovat tunkeutuneet kerrostumaan 2–5 m. Ratapengerin korkeus on vaihteleva. Rata-alueen ulkopuolella on lähinnä metsää. Jakson alussa on myös joitakin peltoja ja turvetuotantoalue.



Kuva 2.2:2 Pohjatutkimusleikkaus km 176+360:ltä.



Kuva 2.2:3 Pohjatutkimuspituusleikkaus km 176+500:n ja km 177+250:n välillä.

Km 177+420 – km 177+600

Alueella kitkamaakerrostuma ja todennäköisesti myös kallio on lähellä pintaa. Pinnassa on turvetta ja savea 0,5–4,5 m ja tämän alla on 1–5 m kitkamaata. Ratapenger on matala (kuva 2.2:4). Rata-alueen ulkopuolella on metsää.



Kuva 2.2:4 Näkymä km 177+600:ltä länteen.

Km 177+600 – km 178+450

Savi-siltti kerrostuman paksuus on 5–10 m. Alkuosalla km:llä 177+700 on pinnassa turvetta 1–3 m. Muulla osalla on pinnassa 3–4 m paksu kuivakuori ja tämän alla pehmeää savea 1–6 m. Alimpana on tiivis kitkamaakerrostuma. Ratapenkereen korkeus on melko pieni ja kantavuus on riittävä. Rata-alueen ulkopuolella on metsää.

Km 178+450 – km 178+770

Osuus on suurimmaksi osaksi avokalliota. Osuuden päissä on kantavaa kitkamaata. Ratapenkereen korkeus on melko pieni. Rata-alueen ulkopuolella on metsää.

Km 178+770 – km 178+790

Osuudella savikerrostuman paksuus kasvaa nolasta noin 4–5 m:iin. Ratapenkereen korkeus on melko pieni. Rata-alueen ulkopuolella on metsää.

Km 178+790 – km 180+100

Alueella savi-silttikerrostuman paksuus vaihtelee 4–18 m. Pinnassa on kuivakuorta 1,5–5 m. Savikerrostuman alla on tiivistä soraa ja moreenia. Inginmaan ylikulkusillan kohdalla noin km 180+100 on radan eteläpuolella lähellä eteläistä maatukea kallio-paljastuma. Savikerrostuman paksuus kasvaa sillan kohdalla pohjoiseen mentäessä voimakkaasti ja on pohjoisen maatuen kohdalla noin 30 m. Ratapenger on korkeampi kuin edellisillä jaksoilla. Rata-alueen ulkopuolella on avoimia peltoja ja vähän metsää (kuva 2.2:5).



Kuva 2.2:5 Näkymä km 179+000:ltä itään.

Uusikylä itäpuoli, Mankala 1 ja Mankala 2

Uusikylän itäpuolella pengerkorkeus on vaihteleva. Paikoin pengeri on matala ja paikoin hyvin korkea. Rata-alueen ulkopuolella on enimmäkseen metsää.

Mankalassa ratapenger on korkea. Km 162:llä ja km 163:llä penkereen pohjoispuolella virtaa pieni oja. Rata-alueen ulkopuolella on enimmäkseen metsää.

Pohjasuhteiltaan osuudet ovat varsin samanlaiset. Lähinnä harjun lakea sijaitsevat Uudenkylän itäpuolen ja Mankala 2:n oikaisut ovat pintaosiltaan erittäin kivistä ja lohkkareista moreenia. Mankala 1:n oikaisu sijoittuu alemmas harjun rinteeseen ja maaperä on erittäin tiivistä siltistä hiekkaa ja hiekkamoreenia. Kaikilla osuuksilla moreenin pintaosa on silttipitoista ja routivaa. Kairaukset eivät kaikilla osin ole ulottuneet suunniteltuun leikkaustasoon, mutta geologisesti arvioituna koko harju on moreenia, soraa ja hiekkaa ja kalliopinta sijaitsee syvällä.

Koria ja Taavetti

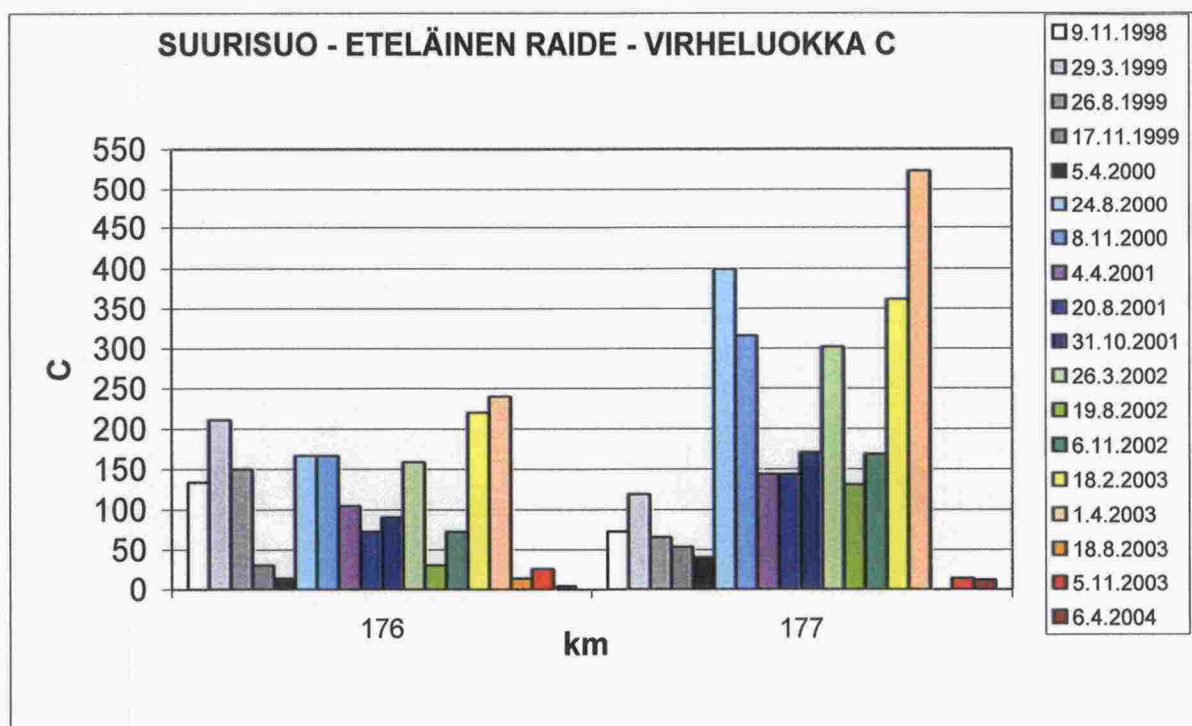
Koriolla on oikaisun alueella 12...40 m paksu savi-silttikerrostuma. Kuivakuoren paksuus on 1,0...1,5 m. Kerrostuman ylin osa 10...14 m syvyyteen on erittäin pehmeää ja yläosaltaan liejusta. Vesipitoisuus vaihtelee 80...110 % ja siipikairalujuus 17...50 kPa. Savikerrostuman alaosa on todennäköisesti kerrallista Baltian jääjärven

savea. Savikerrostuman alla on keskitiivistä/tiivistä moreenia, johon kairaukset ovat tunkeutuneet 0,5...5,0 m.

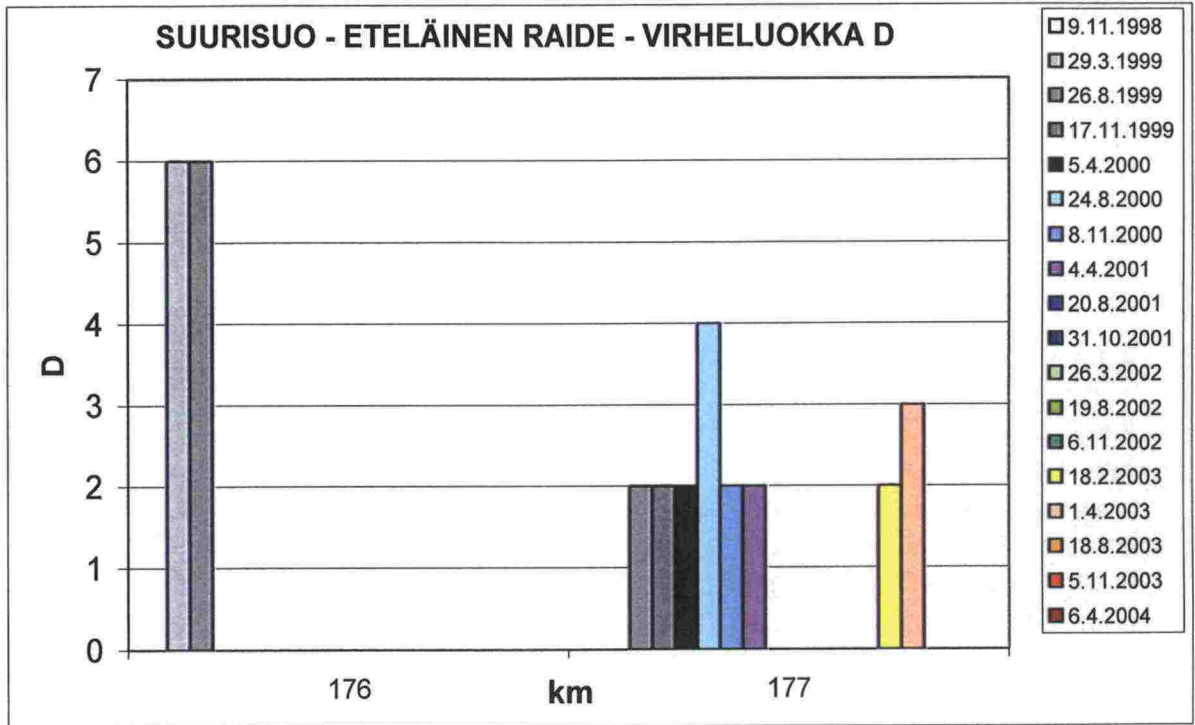
Taavetin oikaisualueella pohjasuhteet vaihtelevat pienistä kalliopaljastumista ja siltti-moreenialueista 8 m paksuihin savi-silttikerrostumiin. Savi ja siltti on alueella voimakkaasti ylikonsolidoitunutta ja kuivakuoren paksuus on yli 3 m. Saven vesipitoisuus vaihtelee 20...50 % ja siipikairalujuus 90...110 kPa. Savikerrostuman alla on tiivistä silttimoreenia.

2.2.5 Radantarkastustulosten tarkastelu

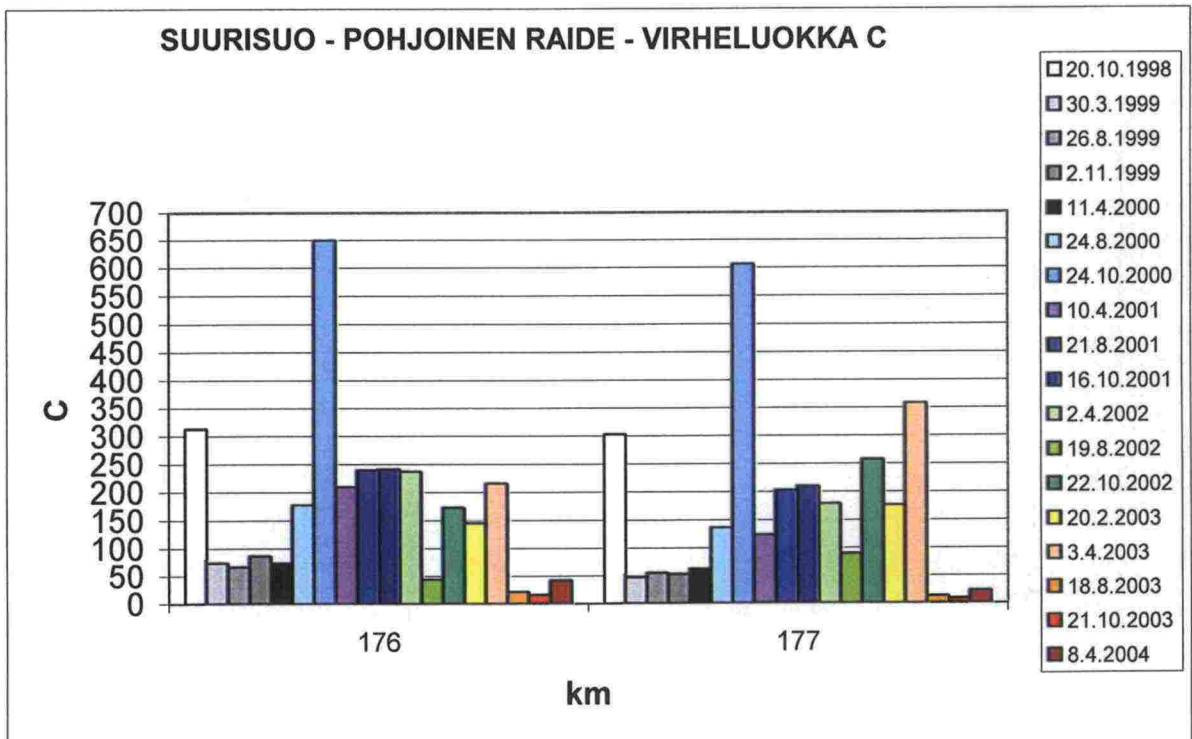
Kuviin 2.2:6, 2.2:7, 2.2:8 ja 2.2:9 on koottu yhteenvedot Suurisuon kohdalla olevaan rataosaan liittyvistä käytettävissä olleista radantarkastustuloksista. Kuvissa esitetyt arvot ovat jokaisen virheluokan virheiden kokonaismääriä yhden kilometrin välein. Mittaukset on tehty helmikuussa (2003), maaliskuun lopussa ja huhtikuun alussa (1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004), elokuun loppupuolella (1999, 2000, 2001, 2002, 2003) ja marraskuun alkupuolella (1998, 1999, 2000, 31.10.2001, 2002, 2003). Mittaukset on tehty sekä pohjoisesta että eteläisestä raiteesta. Mittauspäivä, jona oli eniten virheitä, on 1.4.2003 eteläisellä raiteella ja 24.10.2000 pohjoisella raiteella. Korkea virheiden määrä 1.4.2003 johtuu pahasta routatalvesta. Kohta, jossa oli eniten virheitä, näyttää olevan km 177. * -luokan virheitä ei ole näissä mittauksissa esiintynyt. Pohjoisella raiteella D-luokan virheitä on enemmän km:llä 177 kuin km:llä 176. Molemmissa raiteissa virheiden määrä on laskenut paljon kolmena viimeisenä mittauspäivänä. Muulloin trendiä ei näytä olevan ja virheitä on joka paikassa ja jokaisena mittauspäivänä.



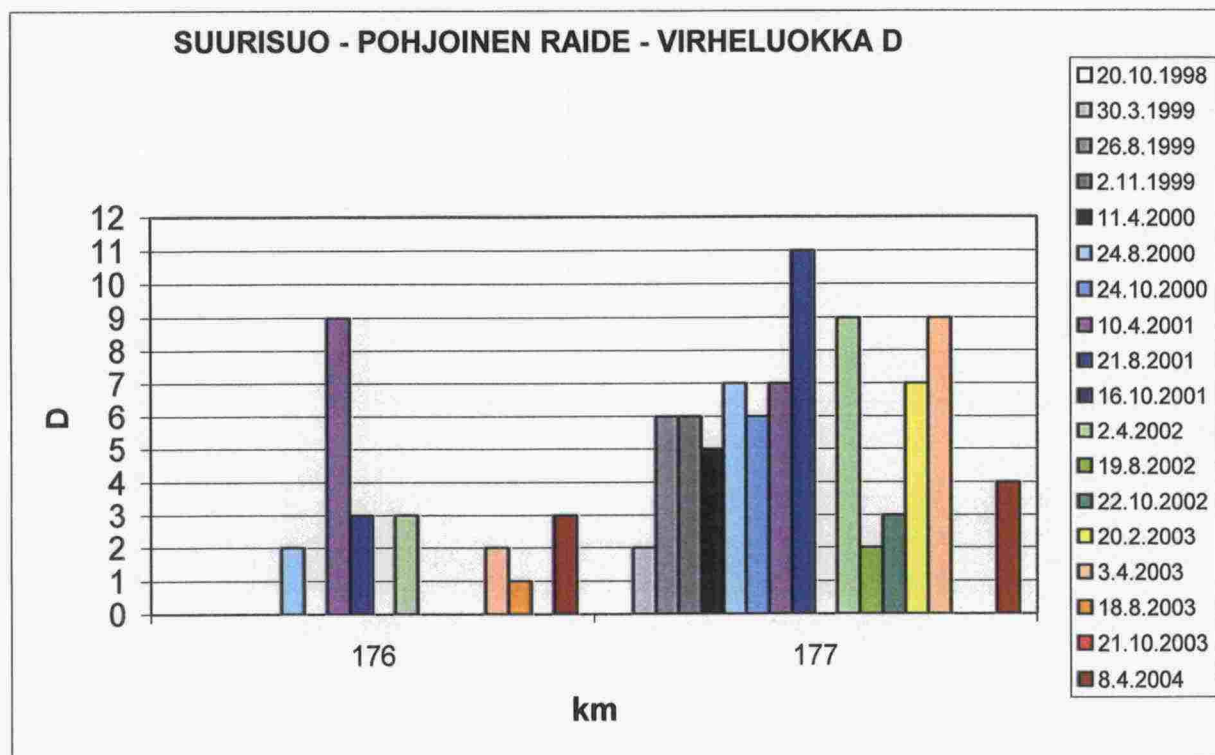
Kuva 2.2:6 Radantarkastustulokset, eteläinen raide, virheluokka C (koko Suurisuon kohdalla oleva rataosa, yhden km:n välein).



Kuva 2.2:7 Radantarkastustulokset, eteläinen raide, virheluokka D (koko Suurisuon kohdalla oleva rataosa, yhden km:n välein).

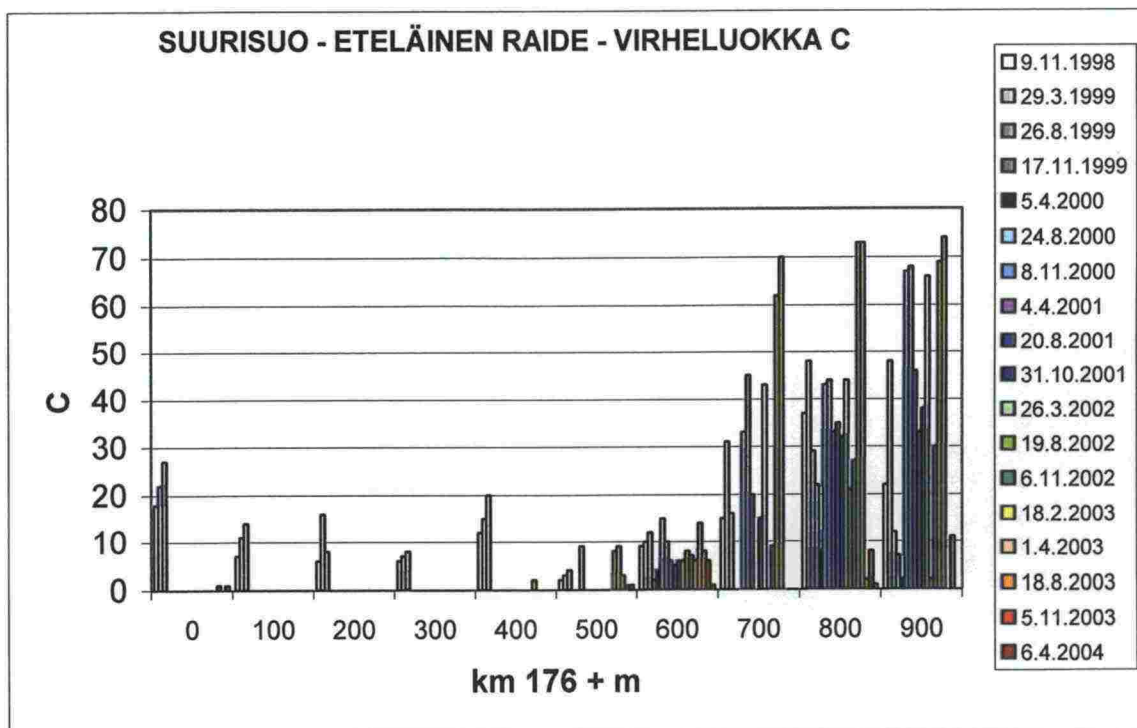


Kuva 2.2:8 Radantarkastustulokset, pohjoinen raide, virheluokka C (koko Suurisuon kohdalla oleva rataosa, yhden km:n välein).



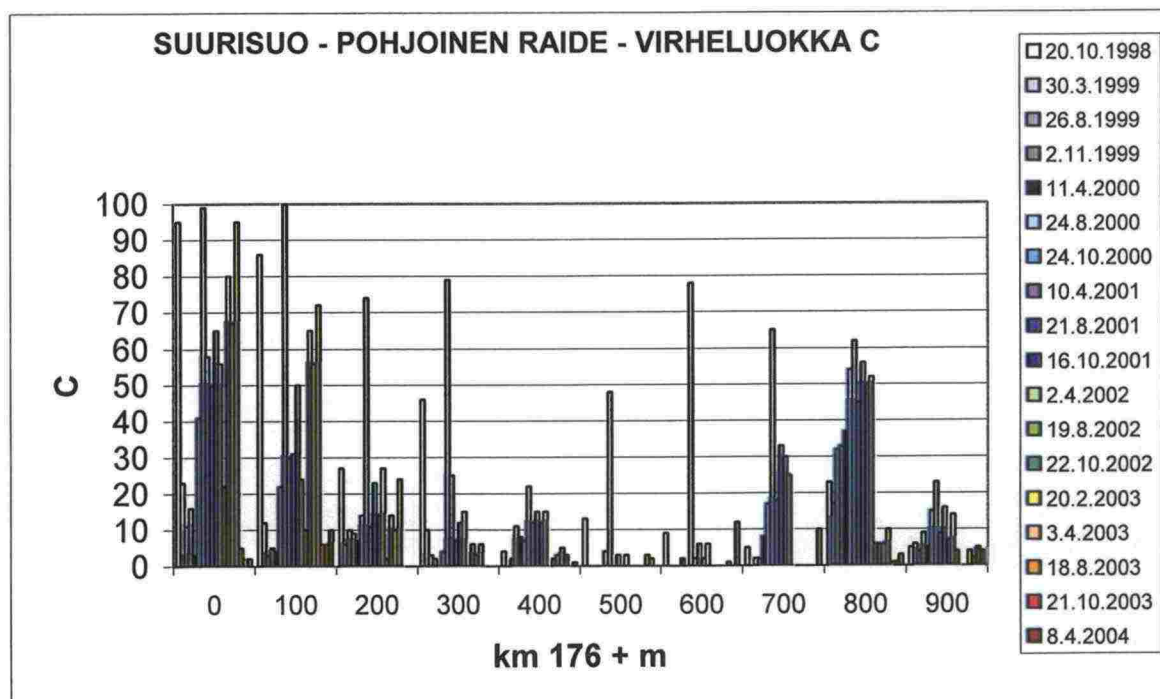
Kuva 2.2:9 Radantarkastustulokset, pohjoinen raide, virheluokka D (koko Suurisuon kohdalla oleva rataosa, yhden km:n välein).

Kuvaan 2.2:10 on koottu lisää yhteenvetoja Suurisuon radantarkastustuloksista. Kuvasa olevat arvot ovat C-luokan virheiden määriä sadan metrin välein eteläisen raiteen km:llä 176. Mittauspäivät näkyvät kuvasta. Kuvasta käy ilmi, että elokuun 2000 jälkeen havaitut C-luokan virheet esiintyvät eteläisellä raiteella vain km:n 176 lopussa. Km:n 176 alussa C-luokan virheitä on vain vuosina 1998 ja 1999. Sen sijaan km:n 176 lopussa C-luokan virheitä on joka vuosi. Elokuun 2001 jälkeen virheitä on kuitenkin enemmän.



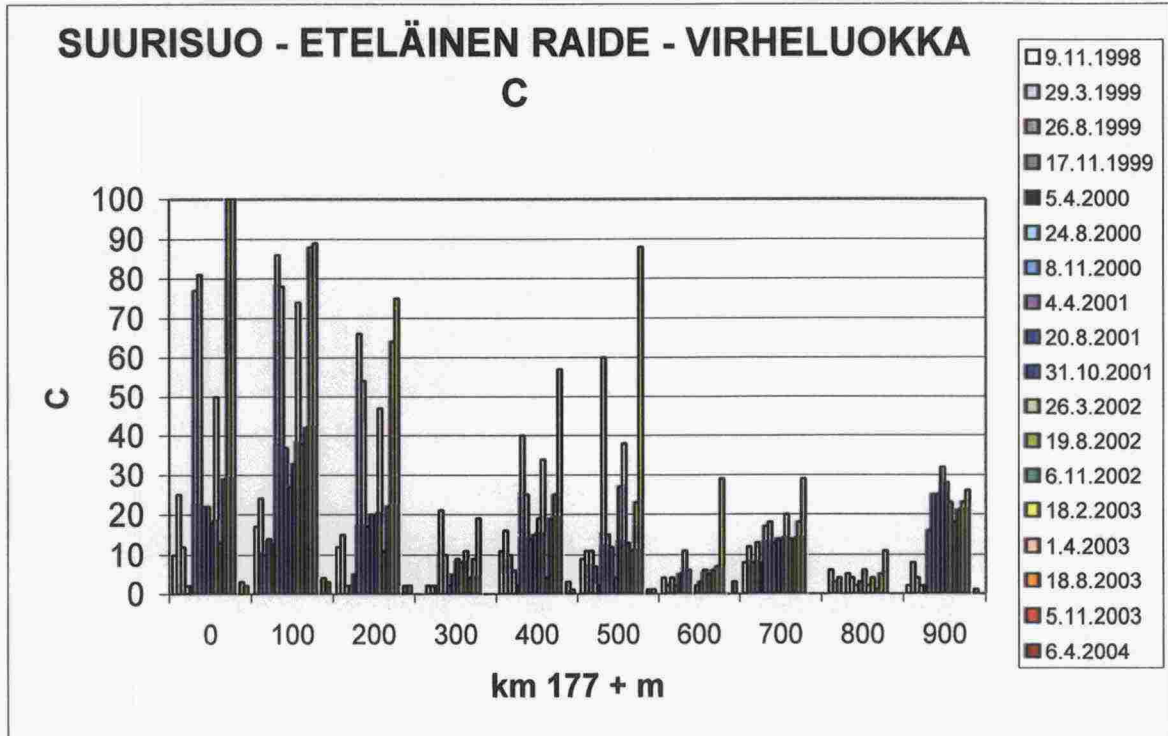
Kuva 2.2:10 Radantarkastustulokset, eteläinen raide, virheluokka C (km 176, sadan metrin välein).

Kuvassa 2.2:11 on lisää yhteenvetoja Suurisuon radantarkastustuloksista. Kuvassa olevat arvot ovat C-luokan virheiden määriä sadan metrin välein pohjoisen raiteen km:llä 176. Mittauspäivät näkyvät kuvasta. Kuvasta käy ilmi, että C-luokan virheet kasaantuvat km:n 176 alussa. Mittauspäivä, jona oli eniten virheitä, on 24.10.2000.



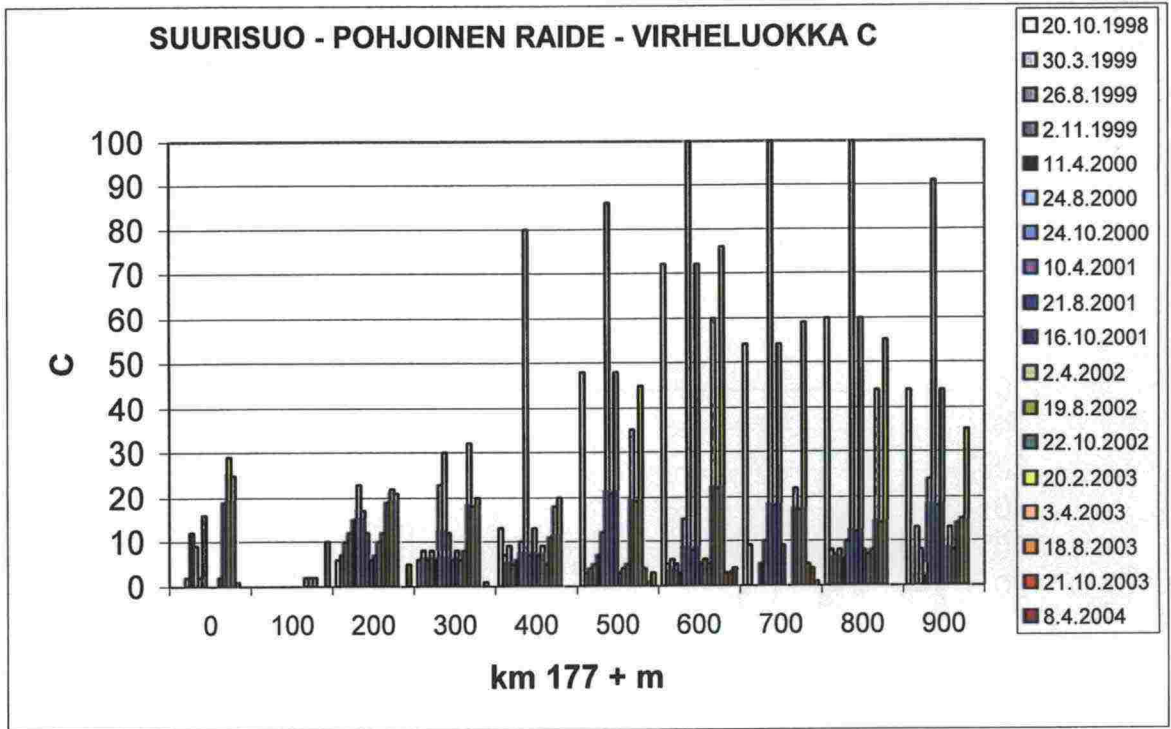
Kuva 2.2:11 Radantarkastustulokset, pohjoinen raide, virheluokka C (km 176, sadan metrin välein).

Kuvassa 2.2:12 on lisää yhteenvetoja Suurisuon kohdalla olevaan rataosaan liittyvistä käytävissä olleista radantarkastustuloksista. Kuvassa olevat arvot ovat C-luokan virheiden määriä sadan metrin välein eteläisen raiteen km:llä 177. Mittauspäivät näkyvät kuvasta. Kuvasta käy ilmi, että C-luokan virheet kasaantuvat km:n 177 alussa.



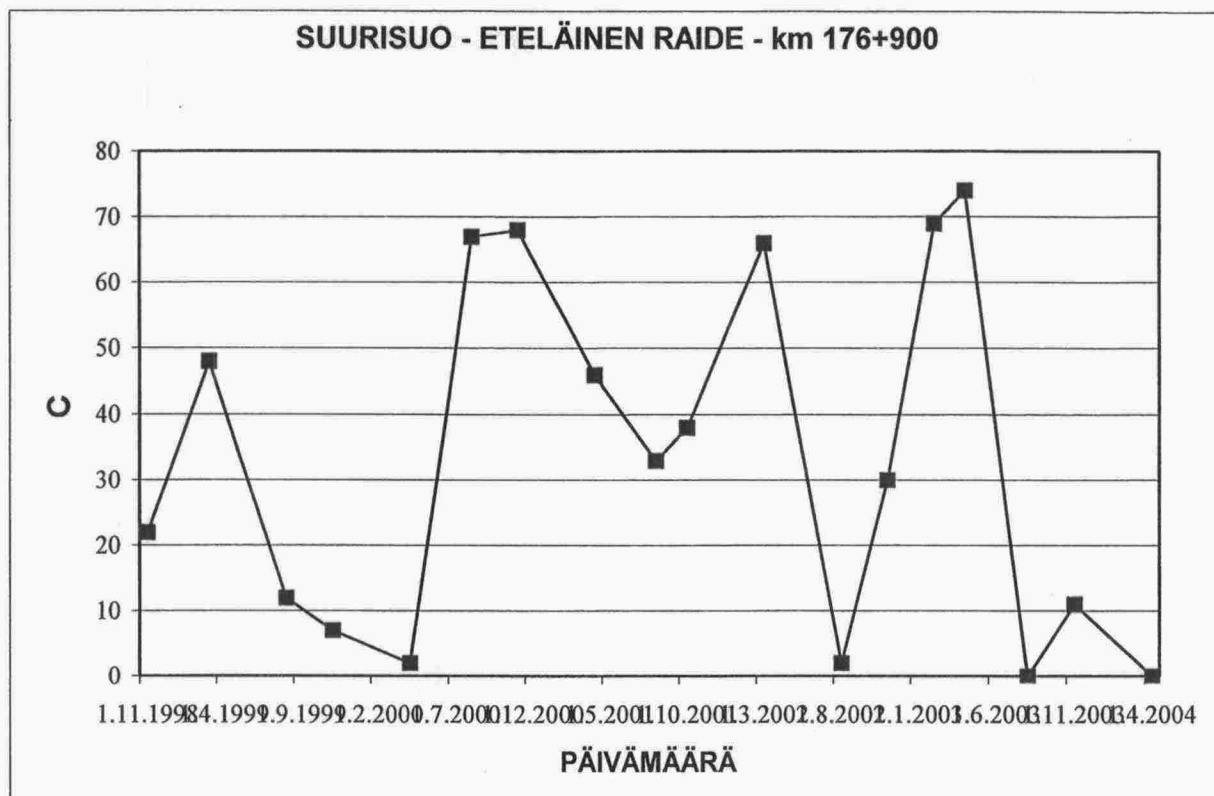
Kuva 2.2:12 Radantarkastustulokset, eteläinen raide, virheluokka C (km 177, sadan metrin välein).

Kuvaan 2.2:13 on koottu lisää yhteenvetoja Suurisuon radantarkastustuloksista. Kuvassa olevat arvot ovat C-luokan virheiden määriä sadan metrin välein pohjoisen raiteen km:llä 177. Mittauspäivät näkyvät kuvasta. Kuvasta käy ilmi, että C-luokan virheet kasaantuvat km:n 177 alussa. Mittauspäivä, jona oli eniten virheitä, on 24.10.2000. Välillä 100–200 m esiintyy hyvin vähän C-luokan virheitä.

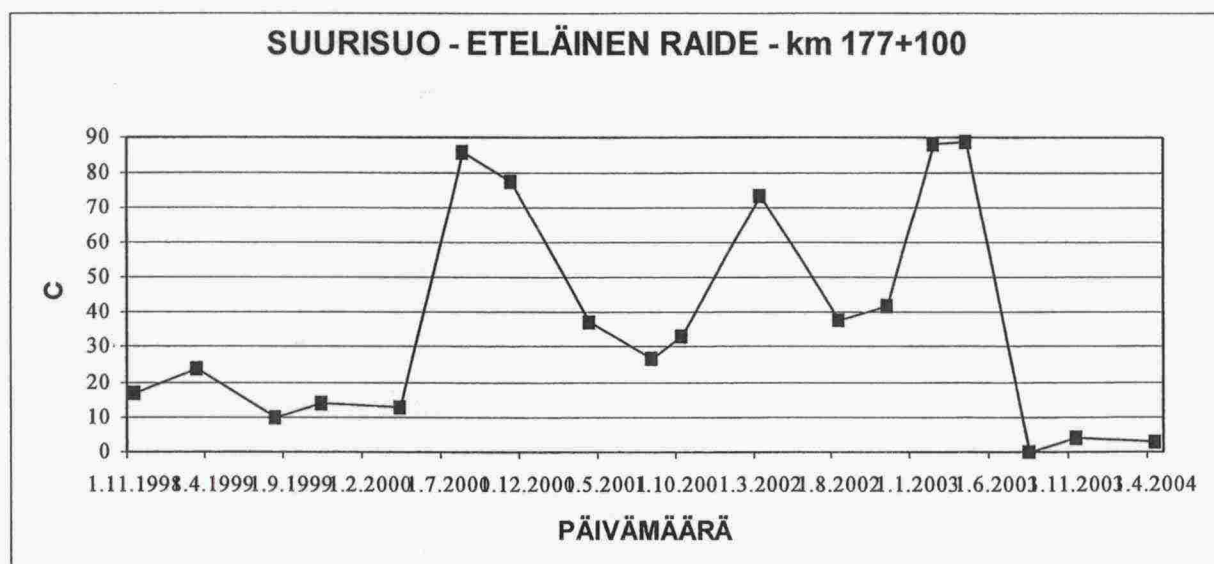


Kuva 2.2:13 Radantarkastustulokset, pohjoinen raide, virheluokka C (km 177, sadan metrin välein).

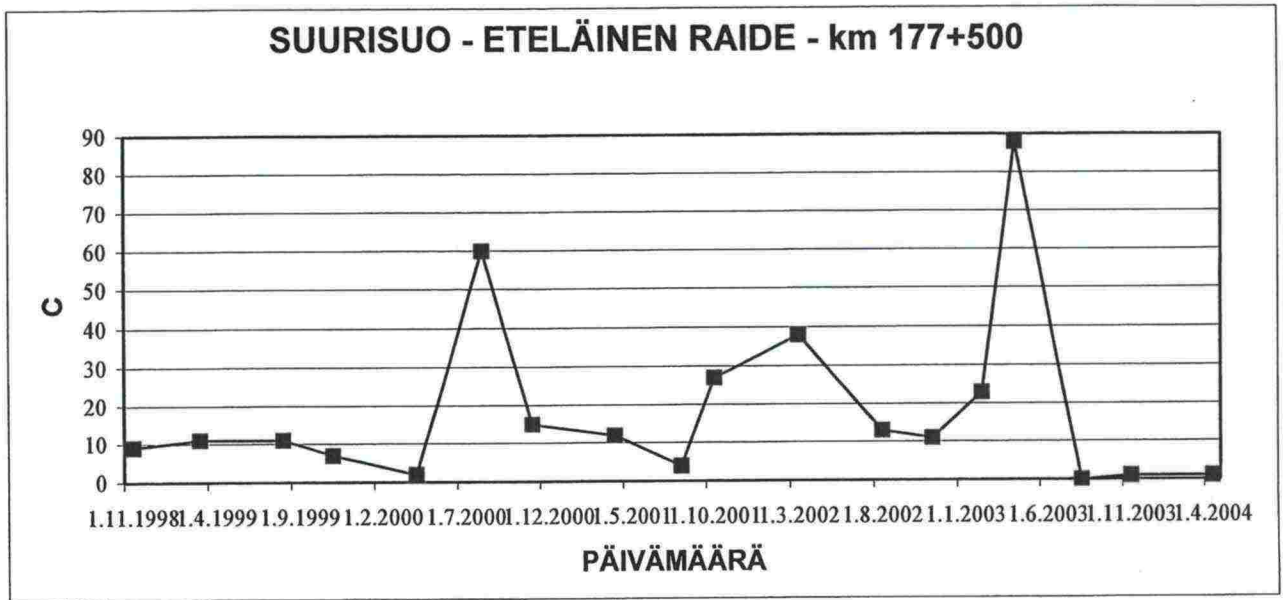
Kuvissa 2.2:14, 2.2:15, 2.2:16, 2.2:17 ja 2.2:18 on havainnollistettu radan geometriassa esiintyvien C-luokan virheiden määriä sadan metrin jaksoilla eri mittausajankohtina. Kuvista ilmenee, että käyttäytyminen oli huonointa syksyllä 2000 ja keväällä 2003.



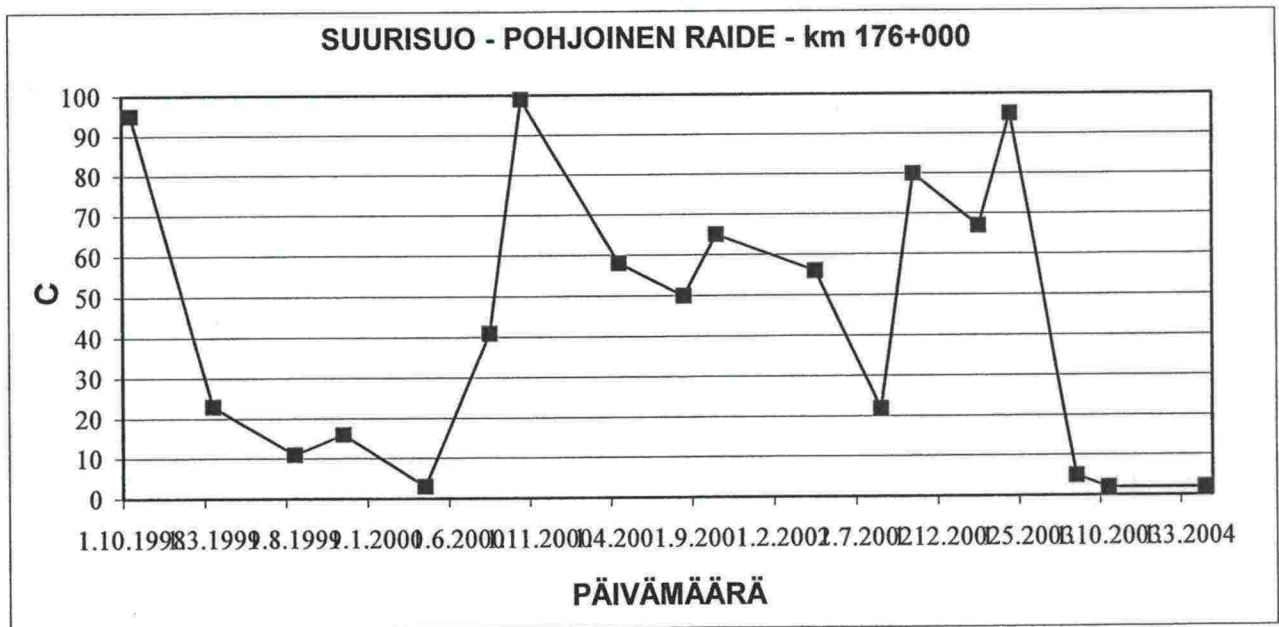
Kuva 2.2:14 Radan geometriassa esiintyvien C-luokan virheiden määrä eteläisellä raiteella km:llä 176+900.



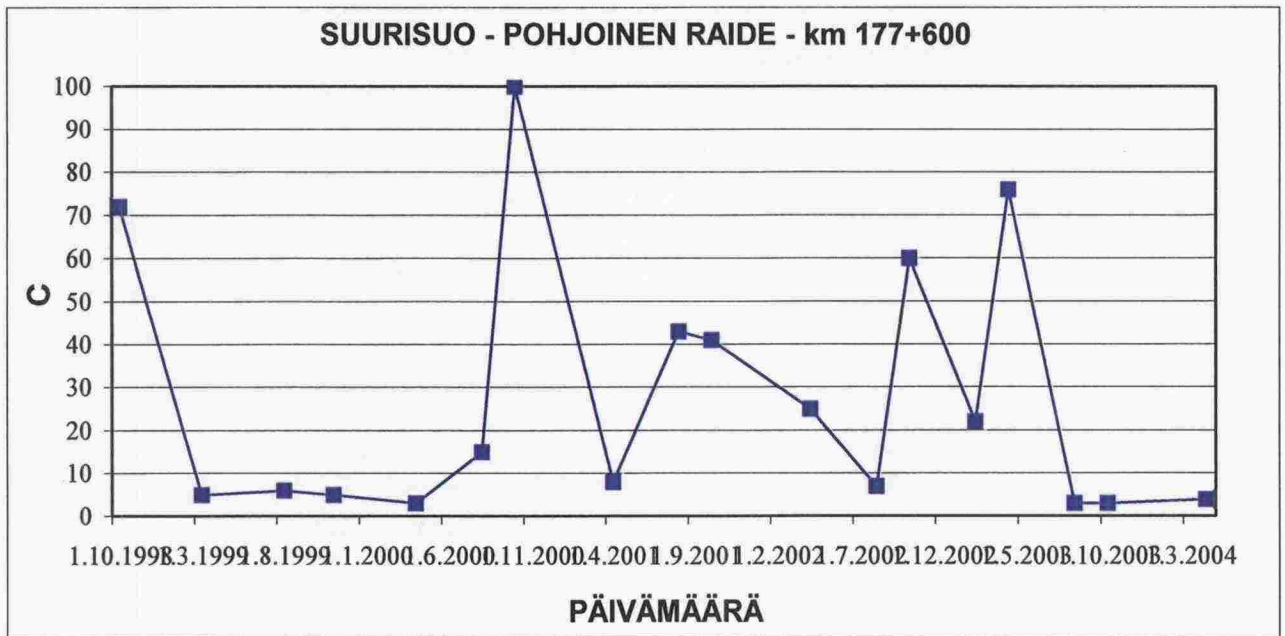
Kuva 2.2:15 Radan geometriassa esiintyvien C-luokan virheiden määrä eteläisellä raiteella km:llä 177+100.



Kuva 2.2:16 Radan geometriassa esiintyvien C-luokan virheiden määrä eteläisellä raiteella km:llä 177+500.

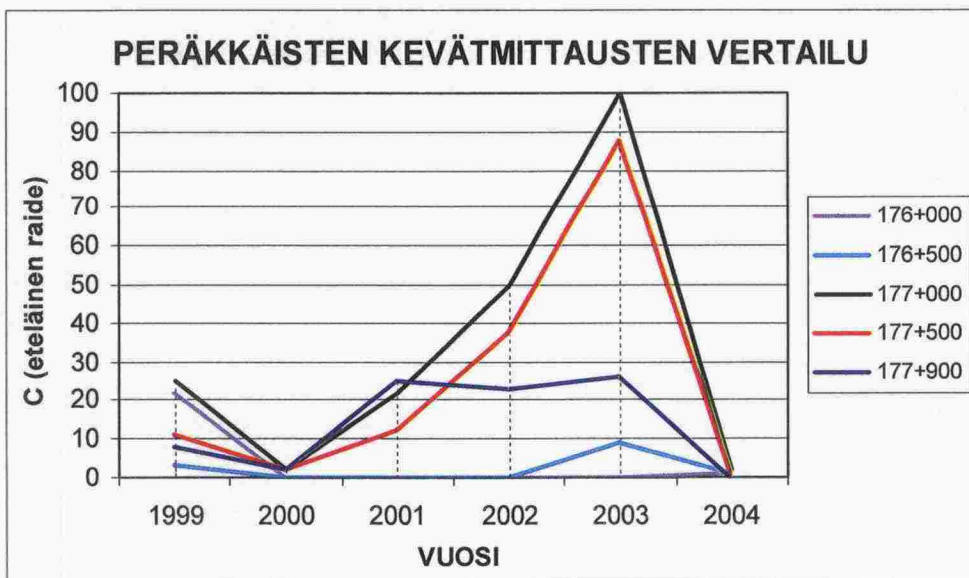


Kuva 2.2:17 Radan geometriassa esiintyvien C-luokan virheiden määrä eteläisellä raiteella km:llä 176+000.

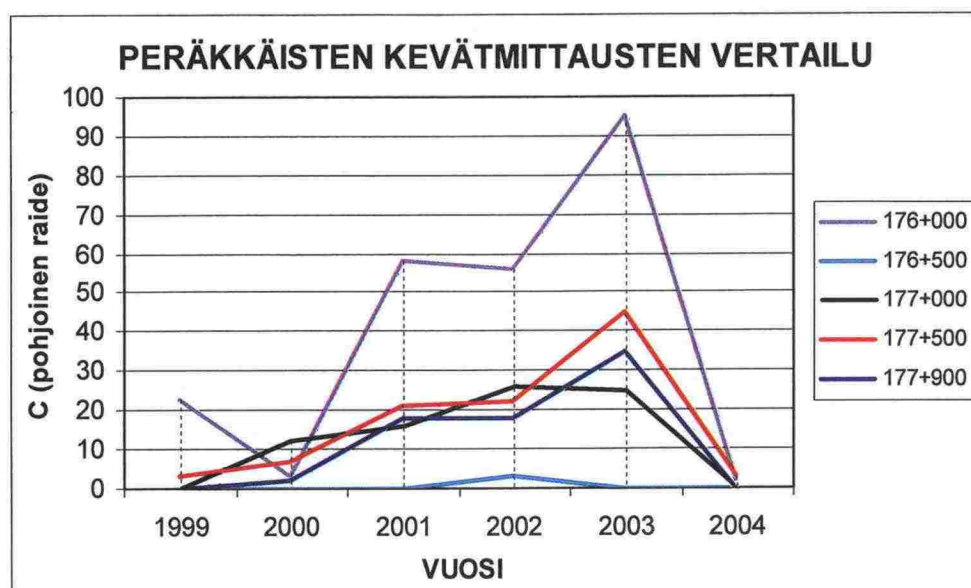


Kuva 2.2:18 Radan geometriassa esiintyvien C-luokan virheiden määrä eteläisellä raiteella km:llä 177+600.

Kuvissa 2.2:19 ja 2.2:20 on havainnollistettu peräkkäisiä kevätmittauksia. Kuvista näkee, miten virheet ovat käyttäytyneet. Kuvien perusteella näyttää siltä, että rataa on korjattu vuosina 2000 ja 2004.



Kuva 2.2:19 Peräkkäisten kevätmittausten vertailu eteläisellä raiteella.



Kuva 2.2:20 Peräkkäisten kevätmittausten vertailu pohjoisella raiteella.

Taulukot, joihin on koottu kaikki Suurisuon kohdalla olevaan rataosaan liittyvät käytettävissä olleet radantarkastustulokset, löytyvät liitteinä raportin lopussa.

2.2.6 Johtopäätökset kohteen tilanteesta

Oikaisun alue on asumatonta suoaluetta. Suo on ojitettu turvetuotantoalue. Turvekerroksen paksuus on 2–6 m ja sen alla on 5–10 m erittäin pehmeää savea tai liejua. Kova pohja on pahimmillaan yli 40 m syvyydessä. Suon itäpuolella on maisemassa selvästi erottuva rapakivikallioalue. Kallion itäpuolella on metsää. Radan eteläpuolella lähellä Inginmaata on viljelty peltoaukea. Viittamässä on arvokas siemenpuuviljelys. Lamminmäelle on rakennettu kaatopaikka.

Suurisuon kohdalla rakentamisen kannalta ongelmallista on suon heikko kantavuus. Radan vakavuuden turvaamiseksi suolle on rakennettu leveät vastapenkereet. Rata ja vastapenkereet ovat aikojen kuluessa painuneet runsaasti ja radan korjaustarve on edelleen jatkuva. Nykyisen radan parantamiseen on tutkittu kahta vaihtoehtolinjaa VE0+ ja VE0++. Näiden geometria on lähes sama kuin nykyisellä linjalla. Mikäli nykyisen radan parantaminen ei onnistu, vaihtoehtoina on tutkittu myös uusia rata-linjoja, joita suunniteltaessa on pehmeikköä kierretty sekä pohjois- (VE2, VE3 ja VE3+) että eteläpuolitse (VE1 ja VE1+).

- VE2 → VE2 on linjattu yhdistämällä painumaosuuden molemminpuoliset kaarteet suoralla. Linja kulkee korkeassa ja huomattavan pitkässä kallioleikkauksessa.
- VE3 ja VE3+ → VE3 ja VE3+ kiertävät pehmeikön pohjoispuolitse kauempana nykyisestä radasta siten, että maa- ja kallioleikkausta tarvitaan vähemmän kuin VE2:ssa. VE3+ erkanee nykyisestä radasta aikaisemmin kuin VE3, jolloin rata voidaan perustaan uudelleen pidemmällä osuudella nykyisen ratapenkereen vieressä.
- VE1 → VE1 on sijoitettu suoriksi nykyisen radan eteläpuolelle ja liittyy nykyiseen rataan pehmeikköosuuden jälkeen.

- VE1+ → VE1+ on sijoitettu suoriksi nykyisen radan eteläpuolelle ja suunniteltu pidemmäksi suoraksi liittyen nykyiseen rataan Nälkämäen leikkauksen jälkeen. Jatkosuunnitteluun on valittu tämä vaihtoehto.

Radantarkastustulosten tarkastelusta kävivät ilmi seuraavat asiat:

- Km:llä 176 eteläisellä raiteella C-luokan virheet kasaantuvat km:n 176 lopussa. Lisäksi elokuun 2000 jälkeen havaitut C-luokan virheet esiintyvät eteläisellä raiteella vain km:n 176 lopussa. Km:n 176 alussa C-luokan virheitä on vain vuosina 1998 ja 1999. Sen sijaan km:n 176 lopussa C-luokan virheitä on joka vuosi. Elokuun 2001 jälkeen virheitä on kuitenkin enemmän. Km:llä 176 pohjoisella raiteella C-luokan virheet kasaantuvat väleillä 0–200 m ja 800–900 m. Km 176 kuuluu varsinaiselle suoalueelle, joka ulottuu km:iin 175+930 Lahden suuntaan ja km:iin 177+420 Kouvolan suuntaan. Kuivakuorta ei osuudella esiinny. Osuuden alku- ja loppupäässä turve-liejukerrostuman paksuus on 0–3 m ja turpeen alla on 2–10 m pehmeää savea. Keskivälillä osuutta, noin km 176+200 – km 177+350, turve-liejukerrostuman paksuus on 3–6 m. Savi-silttikerrostuman paksuus on 5–30 m. Kitkamaan yläpinta on 5–36 m syvyydessä. Kairaukset ovat tunkeutuneet kerrostumaan 2–5 m. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että ratapenkereen korkeus on vaihteleva.
- Kohta, jossa oli eniten virheitä, näyttää olevan km 177. Koko tällä kilometrivälillä virheet esiintyvät sekä pohjoisella että eteläisellä raiteella. Virheitä on kuitenkin enemmän eteläisen raiteen alkuosassa ja pohjoisen raiteen loppuosassa. Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että väli 0–420 m kuuluu varsinaiselle suoalueelle, jonka pohjaominaisuudet käsiteltiin aiemmin. Välillä 420–600 m kitkamaakerrostuma (todennäköisesti myös kallio) on lähellä pintaa. Pinnassa on turvetta ja savea 0,5–4,5 m ja tämän alla on 1–5 m kitkamaata. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että ratapenger on matala. Välillä 600–999 savi-silttikerrostuman paksuus on 5–10 m. Alkuosalla km:lle 177+700 on pinnassa turvetta 1–3 m. Muulla osalla on pinnassa 3–4 m paksu kuivakuori ja tämän alla pehmeää savea 1–6 m. Alimpana on tiivis kitkamaakerrostuma. Ratapenkereen korkeus on melko pieni ja kantavuus on riittävä.
- Pohjoisella raiteella D-luokan virheitä on huomattavasti enemmän km:llä 177 kuin km:llä 176.
- Näyttää siltä, että rataa on korjattu vuosina 2000 ja 2004.
- Muulloin trendiä ei näytä olevan ja virheitä on joka paikassa ja jokaisena mittauspäivänä.

Näyttää siltä, että radantarkastustulosten perusteella ongelmallisimmiksi osoittautuneet paikat eivät ole yhteneviä pohjasuhteiden perusteella stabiliteetiltään ongelmallisimmiksi otaksuttujen paikkojen kanssa.

2.3 Tikkalan rataoikaisu

2.3.1 Käytettävissä olleet asiakirjat

Tikkalan kohteeseen liittyvästä aineistosta löytyvät Oy VR-Rata Ab:n Itä-Suomen ratakeskuksen laatima alustava kustannusarvio toimenpidepäätyä varten ja suunnitelma-

selostus. Aineistossa ovat myös tutkitut ratalinjavaihtoehdot ja maanomistajaluettelo. Lisäksi käytettävissä olivat seuraavat Kymen Viatek Oy:n tuottamat piirustukset:

- Suunnittelualuekartta, yleiskartta ja ympäristökartta
- Pituusleikkaukset ja suunnitelmakartat plv: 1880–2900, 2900–4700, 4700–6500, 6500–8300, 8300–10040
- Radan tyyppipoikkileikkaukset ja yksityisteiden Y2 ja Y3 pituusleikkaukset
- Siltojen alustavat yleispiirustukset (Kouvolan Siltatekniikka Oy teki nämä Viatekin kanssa).

Lisäksi radantarkastustulokset ovat olleet käytettävissä seuraavilta päiviltä: 6.5.1999, 4.10.2001, 16.5.2002, 15.8.2002, 29.4.2003 ja 14.8.2003.

Tutkija Fabrizio Brecciaroli kävi oikaisukohteen maastossa 19.11.2003.

2.3.2 Suunnittelukohteen yleiskuvaus

Suunnittelukohde sijaitsee Säkäniemi (Onkamo)–Joensuu-rataosalla noin 30 km Joensuusta etelään. Rataoikaisun suunnittelualue sijaitsee kilometrivälillä noin 592–600 Tohmajärven ja Pyhäselän kunnissa.

Säkäniemi–Joensuu-rataosa on yksiraiteinen ja sähköistetty. Rataosalla liikennöi arkipäivisin neljä henkilöjunaparia ja 12 tavarajunaparia. Rataosa kuuluu suunniteltuun nopean liikenteen rataverkkoon. Nykyisin suurin sallittu nopeus on 140 km/h Tikkalan ratapihan pohjoispuolista kaarreaksoa lukuun ottamatta, jossa se on 120 km/h. Tavoite-nopeus on perinteisellä kalustolla 160 km/h ja kallistuvakoraisella kalustolla 220 km/h.

Nykyinen rata kulkee suunnittelualueella pääosin metsän keskellä olevassa, soisessa maastossa. Suot ovat enimmäkseen ojitettuja ja metsitettyjä. Tikkalan ratapihan ja kuntarajan välisillä pehmeikköosuuksilla ratapenger on perustettu turvekerroksen varaan hirsi- ja risuarinoita käyttäen. Alue on haja-asutusaluetta. Alueen käyttö painotuu metsätalouteen. Alueella ei ole havaittu olevan ympäristön kannalta merkittäviä tai muita arvokkaaksi todettuja kohteita.

Alue on pääosin sulkeutunutta metsämaisemaa. Avoimia peltonäkymiä on suunnittelualueen pohjoisosassa sekä Tikkalan ratapihan eteläpuolella. Maisemallisesti arvokkaita alueita tai kohteita ei ole. Maaston muodoltaan alue on tasaista, lukuun ottamatta Matinvaaaraa.

Nykyisen radan välittömässä läheisyydessä sijaitsee kolme asuinrakennusta. Näistä Sarakankaan tasoristeyksen tuntumassa oleva rakennus on vakituisessa asuinkäytössä, muut kaksi vapaa-ajan käytössä. Suunnitellun oikaisun vaikutusalueella sijaitsevat Matinvaaaran, Särkipuron ja Korpelan tilat sekä Matinvaaaran eteläpuolella oleva vapaa-ajan asunto. Särkipuron tila on autio. Alueella ei ole rakennus- tai kulttuurihistoriallisesti arvokkaita rakennuksia tai alueita. Tiedossa olevia esihistoriallisia kohteita ei alueella myöskään ole.

Alueen metsät ovat pääosin nuorehkoa, lehtipuuvaltaista sekametsää. Mäntyvaltaista kangasmetsää on lähinnä Matinvaaaran kohdalla. Suot ovat suurimmaksi osaksi ojitettuja ja metsitettyjä. Vesistöjä ei ole lukuun ottamatta Särkijokea ja sameavetistä Lotokan-

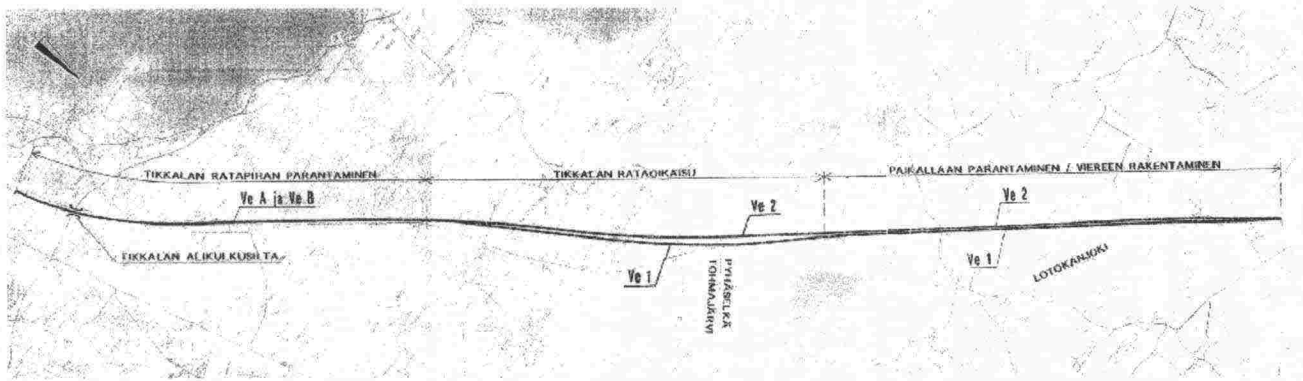
jokea. Lotokanjoella ei ole kalataloudellista merkitystä, mutta se toimii kanoottireittinä. Alueella ei ole havaittu uhanalaisia tai harvinaisia eliölajeja.

Suunnittelualan läheisyydessä on kaksi pohjavesialuetta, Tikkala–Teerivaaran-pohjavesialue suunnittelualan eteläosassa ja Tupakkasärkän pohjavesialue kuntarajalla. Tupakkasärkän pohjavesialue sivuaa nykyistä rataa.

Suunnittelualueella nykyisellä radalla on kuusi tasoristeystä. Näistä kaksi (Tikkalan asema ja Sarakangas) on yksityistien ja neljä viljelystien tasoristeystä. Sarakankaan tasoristeyksessä on puolipuumilaitos, muut ovat vartioimattomia. Sarakankaan tasoristeuksen liikenne on noin 50 ajoneuvoa ja muiden tasoristeysten alle kymmenen ajoneuvoa vuorokaudessa. Rataosaa Kesälahti–Joensuu koskevassa tasoristeys selvityksessä vuodelta 1994 on suunnittelualan tasoristeukset esitetty poistettavaksi pääosin tiejärjestelyin. Ainoastaan Sarakankaan tasoristeys on esitetty korvattavaksi sen tuntumaan rakennettavalla ylikulkusillalla.

Suunnittelualan ulkopuolella noin kilometri Tikkalan ratapihalta etelään radan alittaa paikallistie 15585 (Kostamontie). Suunnittelualan pohjoispuolella Hammaslahdessa radan ylittää maantie 484 (Hammaslahdentie).

Tikkalan kohdalla ratapenger painuu jatkuvasti ja sen vakaavuus on erittäin huono. Vakavuuden parantaminen on arvioitu mahdolliseksi vain rakentamalla uusi rata. Tikkalan ratapihan kohdalla ja sen molemmin puolin on tutkittu vaihtoehdot VeA ja VeB. Varsinaisella oikaisujaksolla on tutkittu vaihtoehdot Ve1 ja Ve2. Oikaisujakson pohjoispuolella on tutkittu vaihtoehdot Ve1, Ve2 ja Ve3. Kuvassa 2.3:1 näkyvät kaikki vaihtoehdot.



Kuva 2.3:1 Vaihtoehdot (mittakaava 1:60 000).

2.3.3 Käsillä olevat ongelmat ja ratkaisuvaihtoehdot

Ratapengertä on vahvistettu 1960-luvulla vastapenkereillä. Tästä huolimatta ratapenger painuu jatkuvasti ja sen vakavuus on erittäin huono. Vakavuuden parantaminen on arvioitu mahdolliseksi ainoastaan rakentamalla uusi rata.

Tikkalan rataoikaisuksi on varsinaisella oikaisujaksolla kilometrivälillä 594–597 muodostettu kaksi linjausvaihtoehtoa (Ve1 ja Ve2). Oikaisujakson eteläpuolella vaihto-

ehdot on muodostettu sen mukaan, mille raiteelle tuleva pääraide Tikkalan ratapihan kohdalla sijoittuu (VeA ja VeB). Oikaisujakson pohjoispuolella on selvitetty radan parantamista nykyisellä paikallaan (Ve1) ja uuden radan rakentamista nykyisen viereen (Ve2 ja Ve3).

Tikkalan ratapihan kohdan vaihtoehdot

Tikkalan ratapihan kohdalla ja sen molemmin puolin on tutkittu seuraavat vaihtoehdot:

- **VeA** → pääraide linjataan Tikkalan alikulkusillalta nykyiselle 2-raiteelle ja edelleen sen jatkeena 6,5–7,5 m etäisyydellä nykyisestä raiteesta varsinaisen oikaisujakson alkuun.
- **VeB** → pääraide on nykyisellä paikallaan ratapihan eteläpään asti, josta se linjataan viistosti ratapihan poikki siten, että etäisyys kasvaa oikaisujakson alkuun mennessä noin 20 m:iin nykyisestä radasta.

Tikkalan ratapihan eteläpuolella vaihtoehdon A kaarresäde on 2870 m ja vaihtoehdon B (nykyinen rata) 3030 m. Kaarresäde ei rajoita tavoitenopeedella liikennöintiä kummasakaan vaihtoehdossa. Vaihtoehdossa A rataa joudutaan siirtämään Tikkalan alikulkusillan ja ratapihan välisen osuuden lisäksi myös alikulkusillan eteläpuolella suurimmillaan noin 0,2 m, ellei käytetä korikaarta. Vaihtoehdossa A joudutaan Kostamontieltä ratapihan länsipuolelle johtavaa yksityistietä siirtämään noin 300 m matkalla. Vaihtoehdossa B radan ja yksityistien siirto eivät ole tarpeen.

Tikkalan ratapihalla rakennetaan pääraide kummassakin vaihtoehdossa uuteen paikkaan ja sivuraiteet sen molemmin puolin. Vaihtoehdossa A nykyisiä raiteita pystytään hyödyntämään sivuraiteina vaihtoehtoa B paremmin.

Ratapihan ja varsinaisen oikaisujakson välisellä osuudella tehtävät pohjanvahvistukset edellyttävät vaihtoehdossa A tukiseinän rakentamista nykyisen radan sortumisen estämiseksi ja liikenteenhoidon turvaamiseksi. Tukiseinän teko aiheuttaa nykyisellä radalla puolestaan liikenne- ja painumahaittoja ja lisää radan kunnostustarvetta.

Vaihtoehtoja on vertailtu ainoastaan rakentamiskustannusten osalta vertailukustannuksina, jotka eivät sisällä vaihtoehdoille yhteisiä kustannuksia. Vaihtoehdon A vertailukustannus oikaisujakson eteläpuolella on 20,7 Mmk ja vaihtoehdon B 14,0 Mmk.

Vertailun perusteella suunnitelma on päätetty jatkaa vaihtoehdon B pohjalta, koska se:

- ei edellytä pääraiteen siirtoa Tikkalan ratapihan eteläpuolella
- on ratapihan pohjoispuolella vaihtoehtoa A helpompi rakentaa ja haittaa vähemmän liikenteenhoitoa
- on merkittävästi vaihtoehtoa A halvempi.

Varsinaisen oikaisujakson vaihtoehdot

Varsinaisella oikaisujaksolla on tutkittu seuraavat vaihtoehdot:

- **Ve1** → uusi rata suuntautuu nykyisen radan erkanemiskohdasta Matinvaaaran ja sen pohjoispuolisten suoalueiden kautta kuntarajalle, jossa se liittyy nykyiseen rataan.
- **Ve2** → uusi rata on linjattu kuntarajan tuntumassa noin 90 m vaihtoehtoa 1 lännemmäksi, josta se voidaan johtaa liittymään nykyiseen rataan noin km:llä 597 tai jatkumaan uutena ratana sen rinnalla.

Vaihtoehtojen vaaka- ja pystygeometriassa ei oikaisujaksolla ole mainittavaa eroa. Matinvaaarassa vaihtoehdon 2 maansiirtotyöt ovat vaihtoehtoa 1 suuremmat. Vaihtoehdossa 2 nykyinen ratapenger parannetaan yksityis- ja huoltotieksi. Vaihtoehdossa 1 jatkuvan radansuuntaisen yhteyden muodostaminen edellyttää uuden tien rakentamista kuntarajalta pohjoiseen nykyisen Sarakankaan tasoristeyksen kohdalle noin 1800 m matkalle. Rakennustyön aikana tie palvelisi työmaatienä. Matinvaaaraan on mahdollista rakentaa kummassakin vaihtoehdossa ylikulkusilta rataleikkaukseen.

Kuntarajan eteläpuolella olevalla pehmeiköllä rata joudutaan perustamaan paalulaatalle. Vaihtoehdossa 1 laatan pituus on vaihtoehtoa 2 suurempi laajemmasta pehmeiköstä johtuen. Vaihtoehdossa 1 joudutaan lisäksi vanha ratapenger tukemaan työn ajaksi tukiseinällä rataoikaisun ja nykyisen radan liitoskohdan tuntumassa. Tukiseinän teko aiheuttaa nykyisellä radalla liikenne- ja painumahaittoja sekä radan kunnossapitotarpeen kasvua.

Kuntarajalla oleva Tupakkasärkän pohjavesialue sivuaa nykyistä rataa. Vaihtoehto 2 risteää pohjavesialuetta lyhyen matkaa, mutta ei sijoitu varsinaiselle pohjaveden muodostumisalueelle. Kumpikaan vaihtoehto ei Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alustavan kannanoton mukaan edellytä pohjaveden suojaustoimenpiteitä.

Vaihtoehdon 1 vertailukustannukset ovat oikaisujaksolla 26,0 Mmk ja vaihtoehdon 2 tätä 7,6 Mmk pienemmät eli 18,4 Mmk.

Vertailun perusteella suunnittelua on päätetty jatkaa vaihtoehdon 2 pohjalta, koska se:

- sijoittuu pohjaolosuhteiltaan vaihtoehtoa 1 edullisempaan maastonkohtaan
- ei poikkea ympäristön kannalta mainittavasti vaihtoehdosta 1
- on jakson pohjoispäässä vaihtoehtoa 1 helpompi rakentaa ja haittaa vähemmän liikenteenhoitoa
- on merkittävästi vaihtoehtoa 1 halvempi.

Varsinaisen oikaisujakson pohjoispuolen vaihtoehdot

Oikaisujakson pohjoispuolella on tutkittu seuraavat vaihtoehdot:

- **Ve1** → rata parannetaan nykyisellä paikallaan routaeristämällä tai tekemällä massanvaihto täyteen rakennekerrossyvyyteen (2,20 m) sekä rakentamalla Lotokanjoen yli uusi ratasilta liikennekatkojen aikana joko siirto- tai elementtiratkaisuna.
- **Ve2** → rakennetaan uusi rata nykyisen viereen 15 m etäisyydelle siitä ja Lotokanjoen yli uusi ratasilta, jonka pohjoispuolella uusi rata liitetään nykyiseen.

- **Ve3** → rakennetaan uusi rata nykyisen viereen 15 m etäisyydelle siitä ja liitetään se nykyiseen rataan ennen Lotokanjokea, jolloin Lotokanjoen siltavaihtoehdot ja toteuttamistapa ovat vaihtoehdon 1 mukaiset.

Vaihtoehtojen kaarresäteet ovat 4000–5000 m lukuun ottamatta vaihtoehdon 1 tarkastelujakson eteläpäässä olevaa 2735 m sädettä (nykyinen rata), joka sekkin on helposti suurennettavissa rataa parannettaessa. Vaihtoehdoissa 2 ja 3 on tarkastelujakson pohjoispäässä s-kaarre liitettäessä uusi rata nykyiseen. Vaihtoehdon 1 pystygeometria on muita vaihtoehtoja pienipiirteisempää sen sijoittuessa nykyisen radan paikalle.

Sarakankaan tasoristeys korvataan eritasoratkaisulla. Vaihtoehdossa 1 on siltakustannus likipitään sama yli- ja alikulkusillan osalta. Vaihtoehdossa 2 (ja 3) nykyisen radan viereen rakennettaessa on alikulkusilta noin 0,5 Mmk edullisempi. Alikulkuratkaisu edellyttää kuitenkin pumppaamon rakentamista, mikä aiheuttaa rakentamiskustannusten lisäksi vuotuisia ylläpitokustannuksia.

Muut tarkastelujaksolla olevat tasoristeykset korvataan vaihtoehdossa 2 (ja 3) parantamalla nykyinen ratapenger yksityis- ja huoltotieksi. Vaihtoehdossa 1 nykyisen radan varteen sen itäpuolelle rakennetaan vastaava Sarakankaalta Lotokanjoen tuntumaan johtava noin 1500 m pituinen tieyhteys. Se palvelee rakennustyön aikana työmaatienä. Vaihtoehdossa 2 nykyinen Lotokanjoen ratasilta voidaan ottaa tieliikenteen työmaatienä. Vaihtoehdossa 2 nykyinen Lotokanjoen ratasilta voidaan ottaa tieliikenteen käyttöön, jolloin saadaan jatkuva huoltotieyhteys radan varteen Lotokanjoen yli. Lotokanjoen ratasillan vieressä sen länsipuolella joen ylittää tilustie vanhaa siirrettyä ratasiltaa pitkin. Vaihtoehdossa 2 silta ja sille johtava tilustie joudutaan siirtämään rataa vastavasti tai parantamaan korvaavia tieyhteyksiä.

Nykyisen radan vakavuus on kohtuullisen hyvä tarkastelujakson etelärajan ja Sarakankaan tasoristeyksen välillä. Myös mahdollisista lisäkuormista aiheutuva painuminen on osuudella vähäistä. Vaihtoehdossa 1 radan routimista voidaan vähentää tältä osin routasuojauksella ja/tai korottamalla pengertä. Sarakankaan tasoristeyksestä pohjoiseen nykyinen rata joudutaan käytännössä rakentamaan uudelleen täysin rakennekerroksin. Vaihtoehdossa 2 (ja 3) tarkastelujakson pohjanvahvistustoimenpiteet ovat matalia massanvaihtoja.

Liikenteenalaisen, sähköistetyn radan parantaminen on lyhyiden liikennekatkojen aikana hankalaa, runsaasti aputoita vaativaa ja kallista. Erityisen hankalaa se on vaihtoehdon 1 massanvaihtoa edellyttävillä jaksoilla, joilla joudutaan muun muassa ratajohtopylväiden tukemiseen.

Lotokanjoen ratasillan toteuttaminen nykyisen sillan viereen Ve2:n mukaisesti on työjärjestelyjen ja liikenteen hoidon kannalta paras ratkaisu. Sillalle tulee yhtenäinen kansi, eikä se tarvitse laakereita. Nykyiselle paikalle rakennettaessa (Ve1 ja Ve3) on sivusta siirrettävä silta elementtivaihtoehtoa edullisempi yhtenäisen kansirakenteen ja paremman kuormien jakautumisen vuoksi.

Vaihtoehdon 1 vertailukustannukset ovat tarkastelujaksolla 24,8 Mmk. Vaihtoehtojen 2 ja 3 vastaavat kustannukset ovat 16,9 Mmk ja 18,2 Mmk.

Vertailun perusteella suunnittelua on päätetty jatkaa vaihtoehdon 2 pohjalta, koska:

- siinä rautatieliikenne häittää rakentamista ja rakentaminen liikenteenhoitoa vaihtoehtoa 1 vähemmän
- se ei poikkea ympäristön kannalta oleellisesti vaihtoehdosta 1
- se on merkittävästi vaihtoehtoa 1 halvempi
- se on Lotokanjoen ratasillan, lopputuloksen ja kustannusten kannalta vaihtoehtoa 3 edullisempi.

Sarakankaan tasoristeyksen korvaavan eritasoratkaisun osalta suunnittelua on päätetty jatkaa ylikulkusillan pohjalta alikulkuratkaisuun liittyvien pumppaamon rakentamisen ja kalliolouhinnan välttämiseksi.

2.3.4 Nykyisen ratalinjauksen pohjaolosuhteet

Km 592+000 – km 592+950

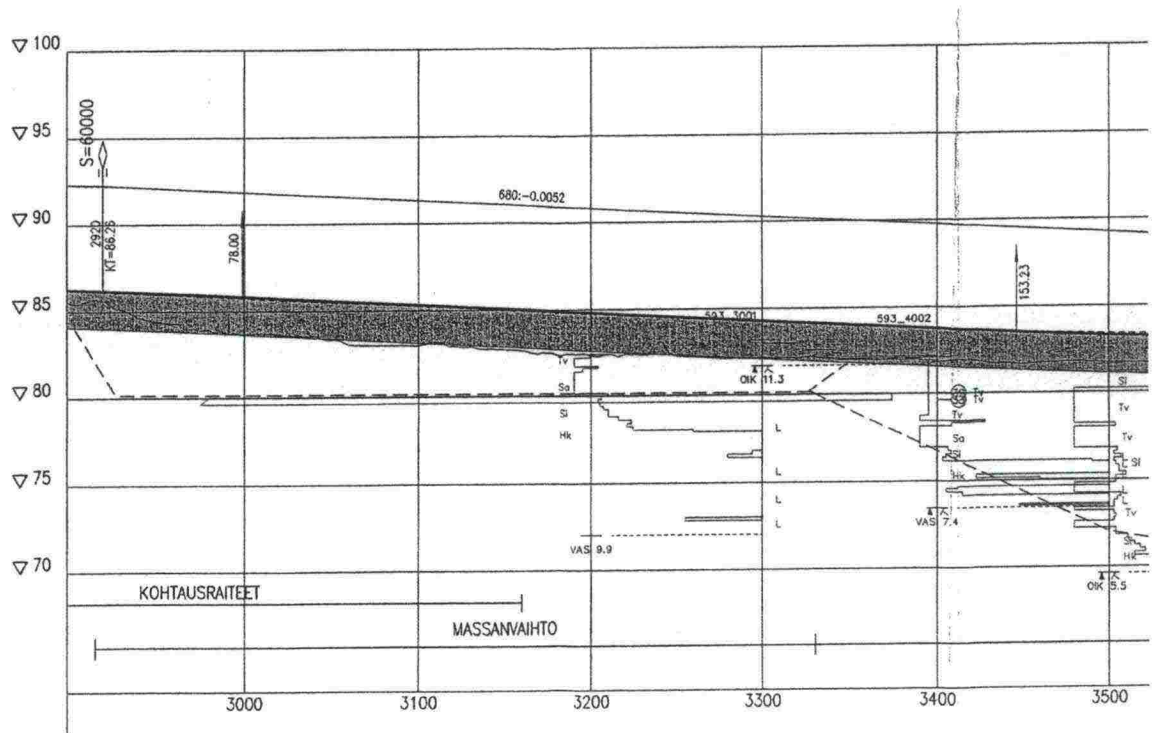
Penger on todella leveä ja matala. Se on melkein ympäröivän maaston kanssa samalla tasolla ja koostuu 3 tai 4 raiteesta. Huoltotie kulkee radan itäpuolella. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että ratapihan ulkopuolella on metsää.

Km 592+950 – km 593+450

Penger on korkeampi kuin aikaisemmin. Huoltotie kulkee penkereen itäpuolella (kuva 2.3:2). Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että rata-alueen ulkopuolella on metsää ja maanpinnalla on jonkin verran vettä. Sitä on lähinnä penkereen länsipuolella, mutta ei paljon. Kuvassa 2.3:3 on pituuspohjatutkimusleikkaus km 592+900 ja 593+500 väliltä (mittakaava on 1:4000 / 1:400).



Kuva 2.3:2 Näkymä km 593+440:ltä etelään.



Kuva 2.3:3 Pituuspohjatutkimusleikkaus km 592+900:n ja 593+500:n välillä (1:4000/1:400).

Km 593+450 – km 594+100

Penger on suhteellisen korkea. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että maanpinnalla oli joka puolella runsaasti vettä (kuva 2.3:4)



Kuva 2.3:4 Näkymä km 593+565:ltä lounaaseen.

Km 594+100 – km 594+465

Km 594+455:llä on Matinväärän ylikulkusilta. Sillan itäpuolella on pieni oja, joka virtaa radan ali km 594+440:llä. Tämän jälkeen oja kulkee radan länsipuolella radan suuntaisesti noin 10 m etäisyydellä. Radan itäpuolella on toinen pienempi oja, joka virtaa radan suuntaisesti noin 20 m radasta. Penger on korkeampi kuin edellisellä osuudella.

Km 594+465 – km 594+960

Huoltotie kulkee penkereen itäpuolella. Ratapenger on matala km 594+660:n ja km 594+960:n välillä ja muuttuu korkeammaksi km 594+660:n ja km 594+465:n välillä erityisesti huoltotien puolella. Penger on edellistä korkeampi. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että radan itäpuolella, missä huoltotie kulkee, maanpinnalla ei ole yhtään vettä. Km 594+960 kohdalla on taloja radan itäpuolella.

Km 594+960 – km 595+150

Penger on edelleen matala. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että maanpinnalla on runsaasti vettä, ei kuitenkaan niin paljon kuin km 593+450 ja km 594+100 väliltä.

Km 595+150 – km 596+800

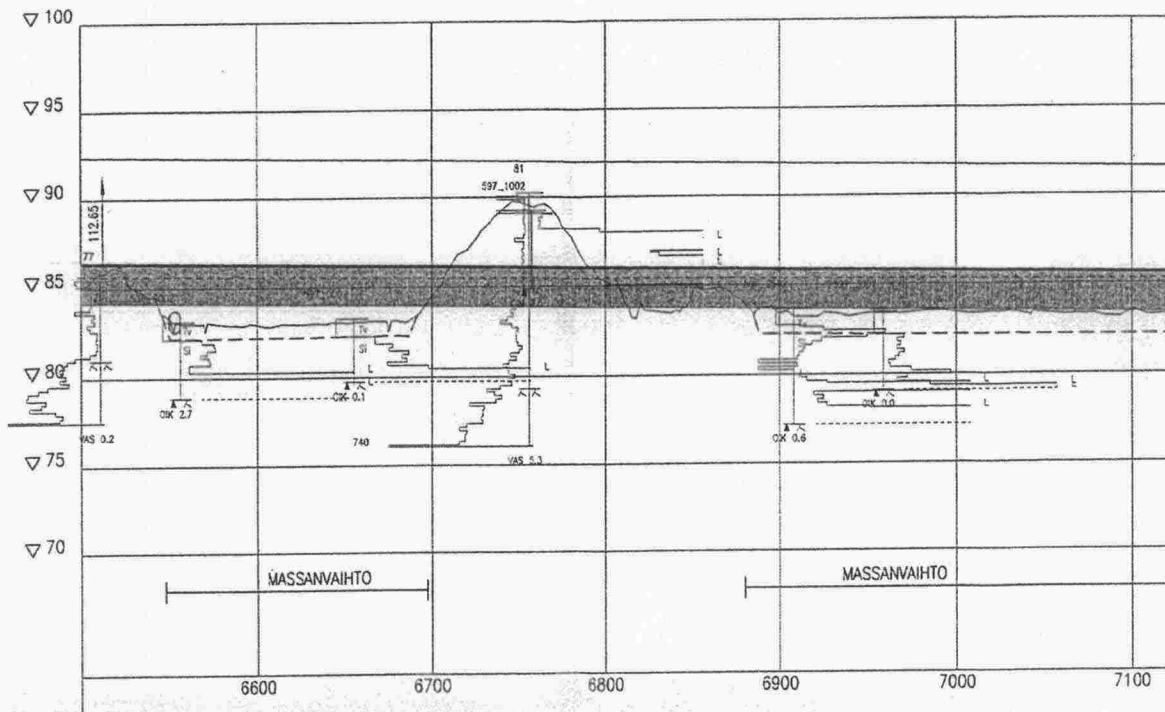
Penger on edelleen matala. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että rata-alueen ulkopuolella on metsää (kuva 2.3:5). Km 595+410 kohdalla on hyvin pieni tasoristeys. Km 595+420 kohdalla pieni oja virtaa radan ali.



Kuva 2.3:5 Näkymä km 596+520:ltä etelään.

Km 596+800 – 597+300

Penger on korkeampi kuin edellisillä jaksoilla. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että rata-alueen ulkopuolella on metsää ja avoimia peltojakin. Km 597+150 kohdalla on pieni tasoristeys. Kuvassa 2.3:6 on pituuspohjatutkimusleikkaus km 596+850 ja 597+450 väliltä (mittakaava on 1:4000 / 1:400).



Kuva 2.3:6 Pituuspohjatutkimusleikkaus km 592+900:n ja 593+500:n välillä (1:4000 / 1:400).

Km 597+300 – km 598+000

Penger on korkea. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että radan ulkopuolella on metsää. Km 597+950 kohdalla on Sarakankaan ylikulkusilta.

Km 598+000 – km 599+000

Penger on edelleen korkea. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että vastapenkereiden vieressä on kaksi pientä ojaa ja rata-alueen ulkopuolella on enimmäkseen metsää. Ainakin km 598+530 kohdalla radan itäpuolella on pienehkö avoin pelto.

Km 599+000 – km 599+550

Penger on edelleen korkea. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että vastapenkereiden vieressä on kaksi pientä ojaa ja rata-alueen ulkopuolella on sekä metsää että avoimia peltoja. Km 599+550:llä on hyvin pieni tasoristeys.

Km 599+550 – km 599+900

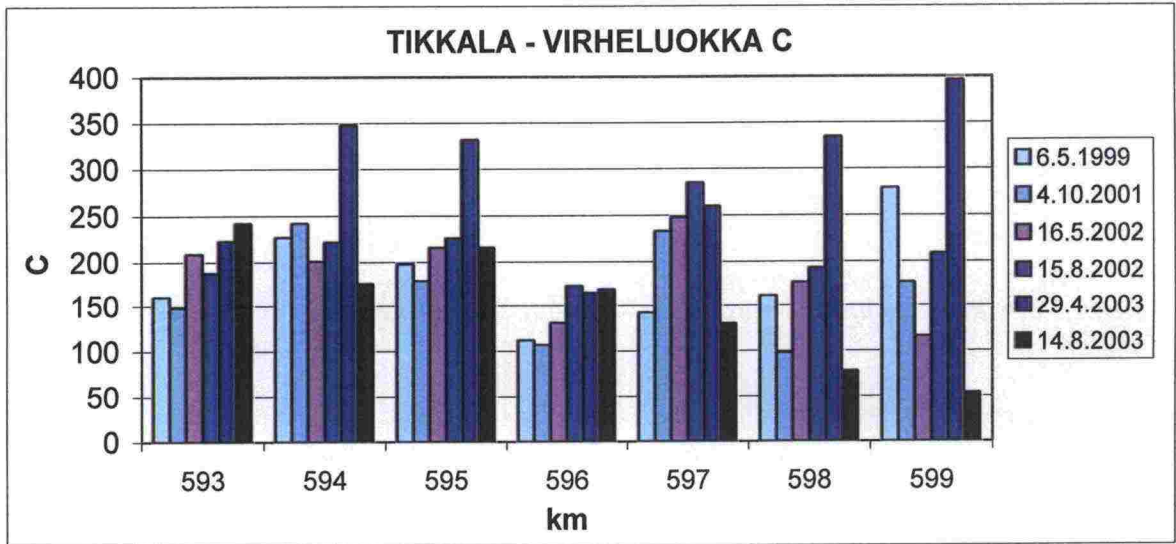
Penger on edelleen korkea. Km 599+800:llä on Lotokanjoen ratasilta. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että Lotokanjokea lukuun ottamatta maanpinnalla ei ole vettä ja että rata-alueen ulkopuolella on enimmäkseen avoimia peltoja. Ajoittain on kuitenkin metsäkin.

Km 599+900 – km 600+650

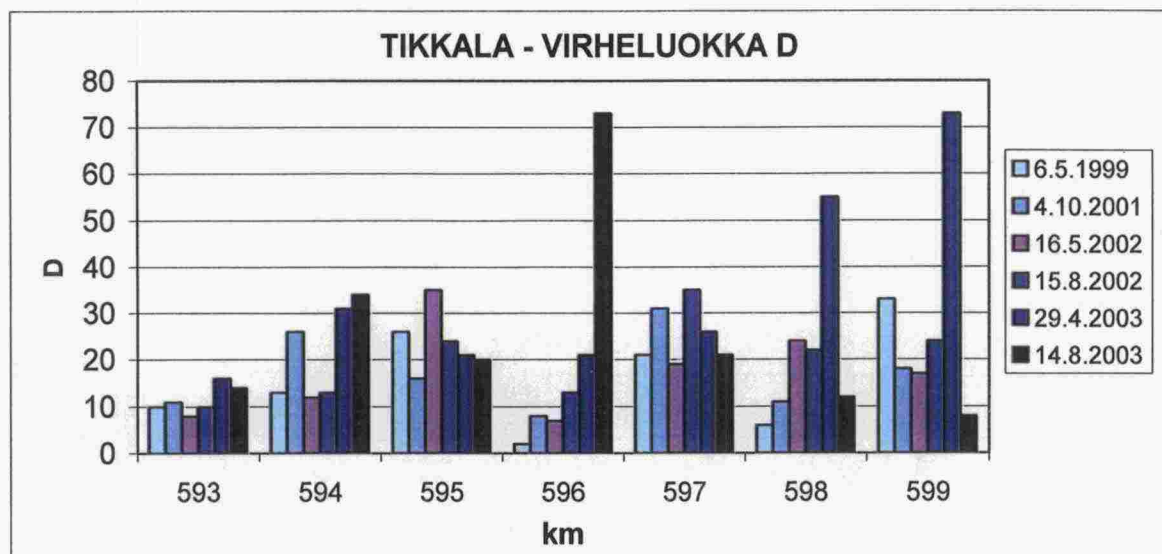
Penger on korkea. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että rata-alueen ulkopuolella on sekä metsää että avoimia peltoja. Penkereen itäpuolella kulkee huoltotie.

2.3.5 Radantarkastustulosten tarkastelu

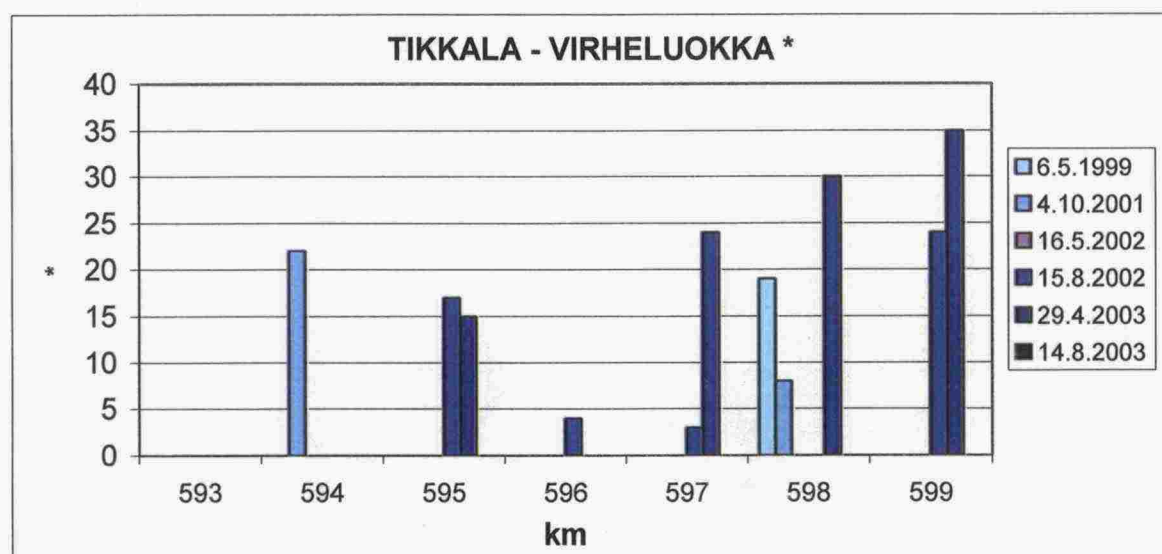
Kuviin 2.3:7, 2.3:8 ja 2.3:9 on koottu yhteenvedot Tikkalan kohdalla olevaan rataosaan liittyvistä käytettävissä olleista radantarkastustuloksista. Kuvissa esitetyt arvot ovat jokaisen virheluokan virheiden kokonaismääriä yhden kilometrin matkalta. Mittaukset on tehty keväällä (6.5.1999, 16.5.2002, 29.4.2003), loppukesällä (15.8.2002, 14.8.2003) ja syksyllä (4.10.2001). Mittauspäivä, jona oli eniten virheitä, on 29.4.2003. Kohta, jossa oli vähiten C-luokan virheitä, näyttää olevan km 596. Elokuussa 2003 C-luokan virheiden määrä laskee rataosan alusta rataosan loppuun. Luokissa D ja * on hieman enemmän virheitä rataosan lopussa kuin alussa. Muulloin trendiä ei näytä olevan ja virheitä on joka kilometrillä ja jokaisena mittauspäivänä.



Kuva 2.3:7 Virheluokan C virheiden määrät kilometreittäin Tikkalan rataoikaisun kohdalla.



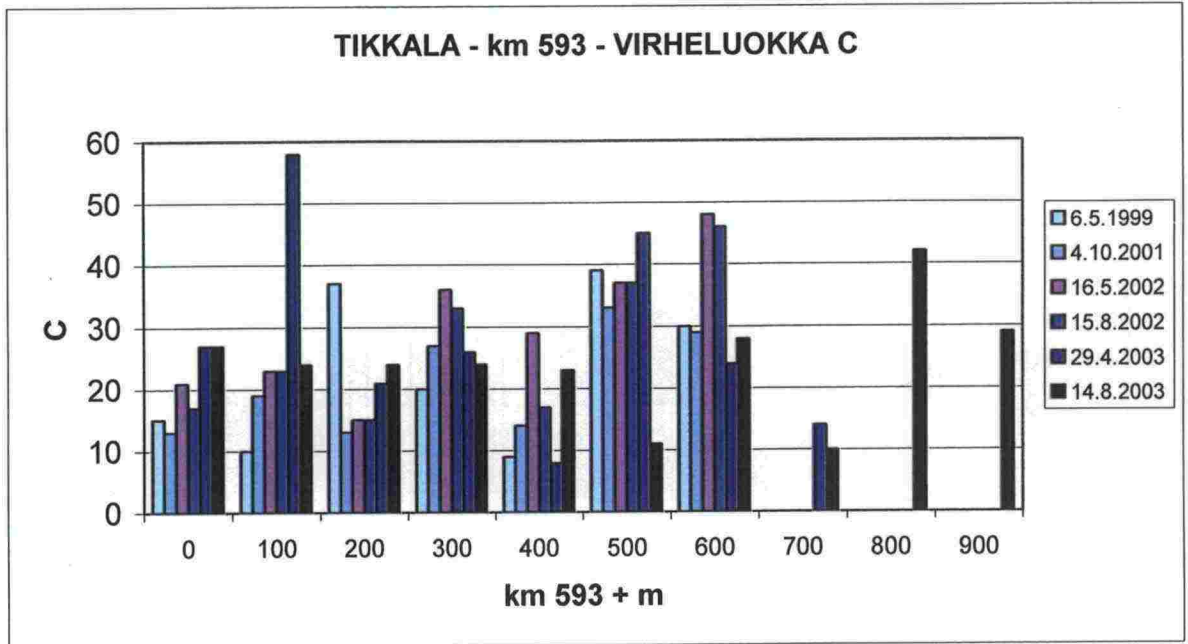
Kuva 2.3:8 Virheluokan D virheiden määrät kilometreittäin Tikkalan rataoikaisun kohdalla.



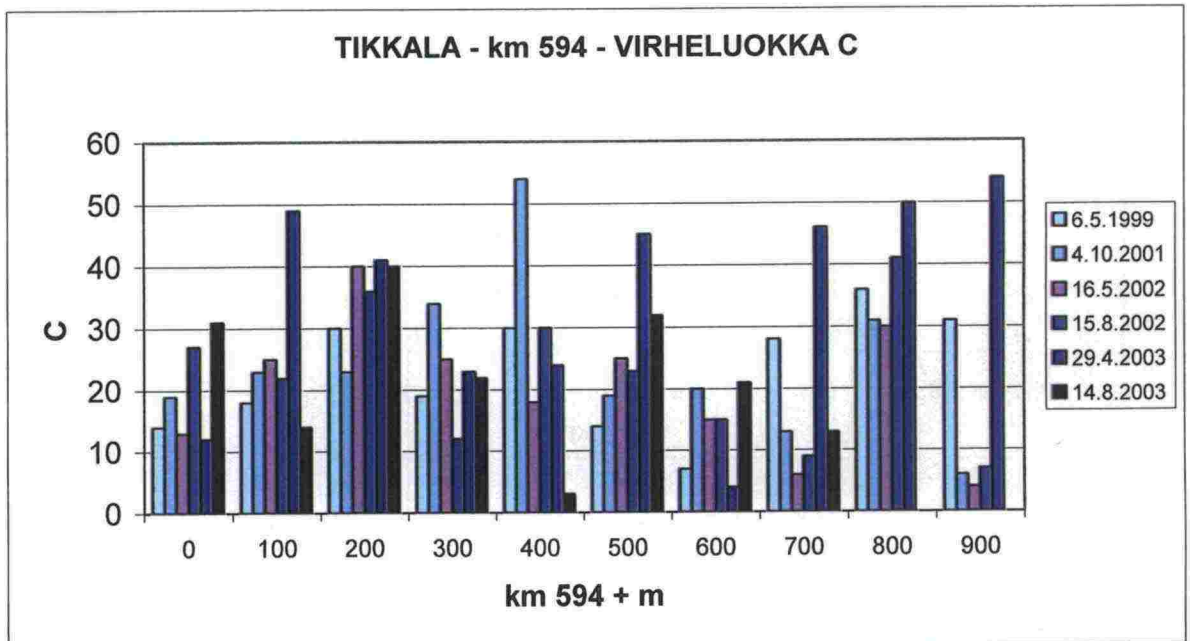
Kuva 2.3:9 Virheluokan *-virheiden määrät kilometreittäin Tikkalan rataoikaisun kohdalla.

Mittauspäivän 14.8.2003 D- ja *-luokan virheiden määriä oli mahdotonta erottaa toisistaan. Kuvassa 2.3:8 näkyvät päivän 14.8.2003 arvot ovatkin todellisuudessa D- ja *-luokan virhemäärien summia. Sen sijaan kuvassa 2.3:9 näkyvät päivän 14.8.2003 arvot on asetettu nolliksi, vaikka sinä päivänä on mitattu joitakin *-luokan virheitä.

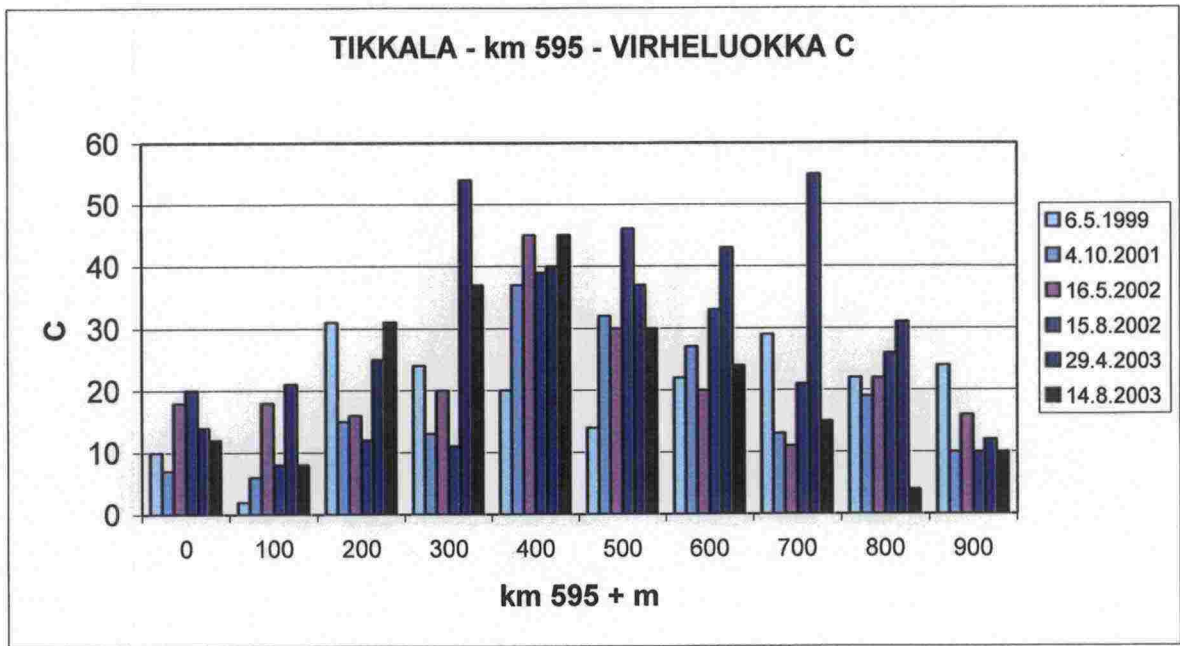
Kuvissa 2.3:10, 2.3:11, 2.3:12, 2.3:13, 2.3:14, 2.3:15 ja 2.3:16 on lisää yhteenvetoja Tikkalan rataoikaisun radantarkastustuloksista. Kuvissa olevat arvot ovat C-luokan virheiden määriä sadan metrin matkalta jokaisella kilometrivälillä. Mittauspäivät ovat samoja kuin edellisissä kuvissa. Kuvista ilmenee, että virheet esiintyvät suurin piirtein tasaisesti ja erikoisia trendejä ei näytä olevan. Voidaan kuitenkin todeta, että kohta, jossa on vähiten C-luokan virheitä, näyttää olevan km 596.



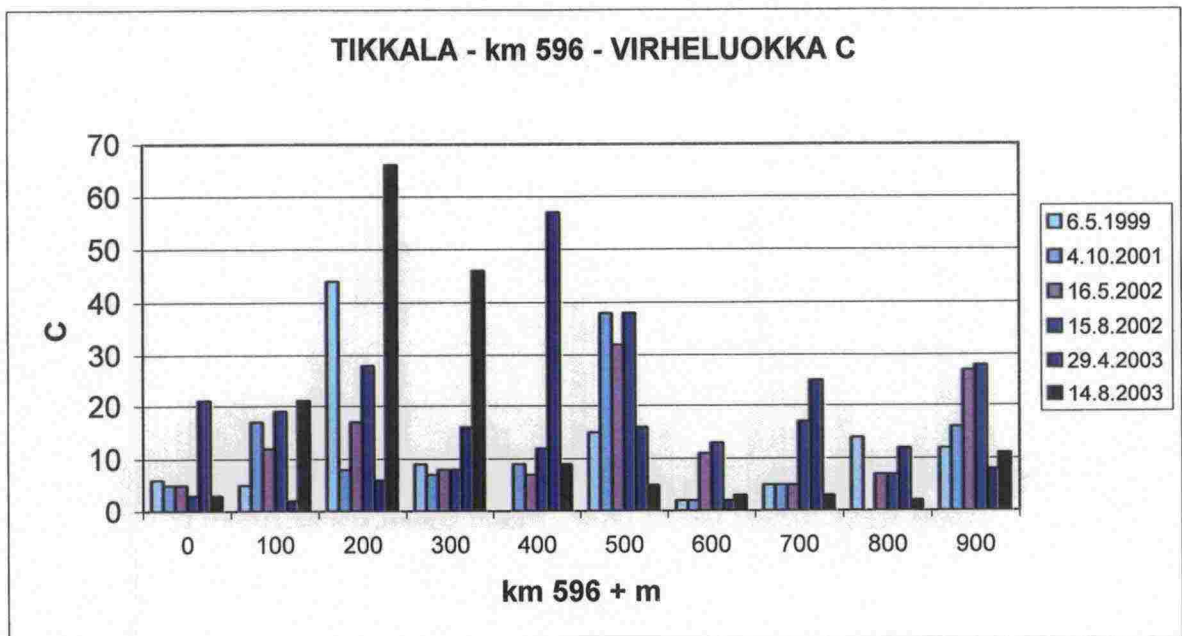
Kuva 2.3:10 Radantarkastustulokset, virheluokka C (km 593, sadan metrin välein).



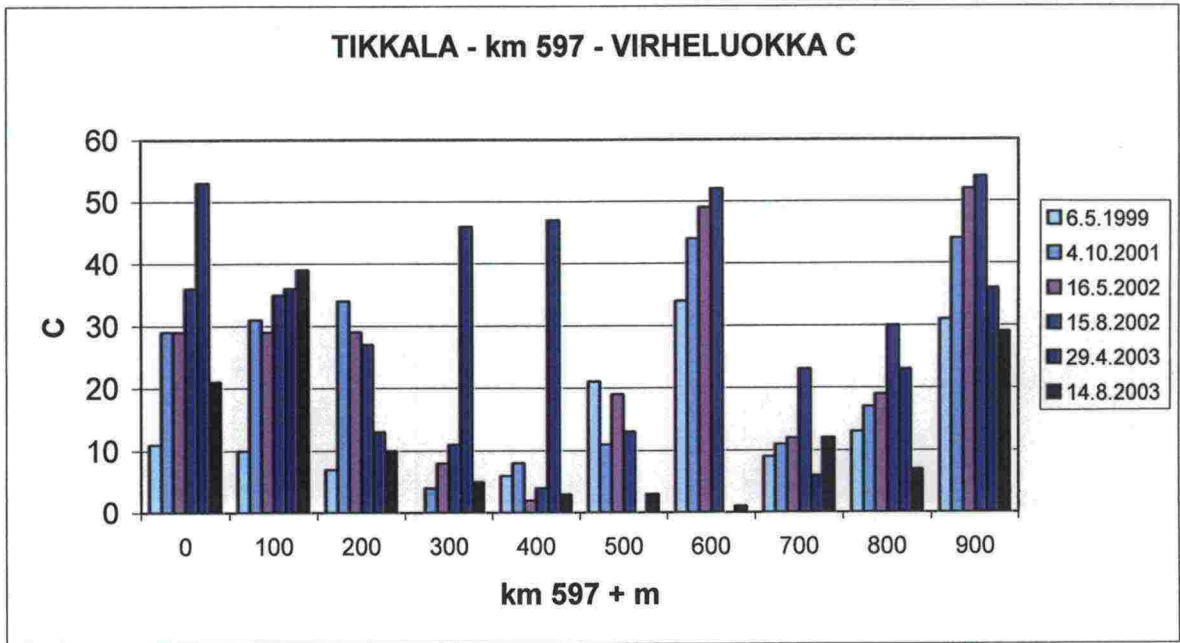
Kuva 2.3:11 Radantarkastustulokset, virheluokka C (km 594, sadan metrin välein).



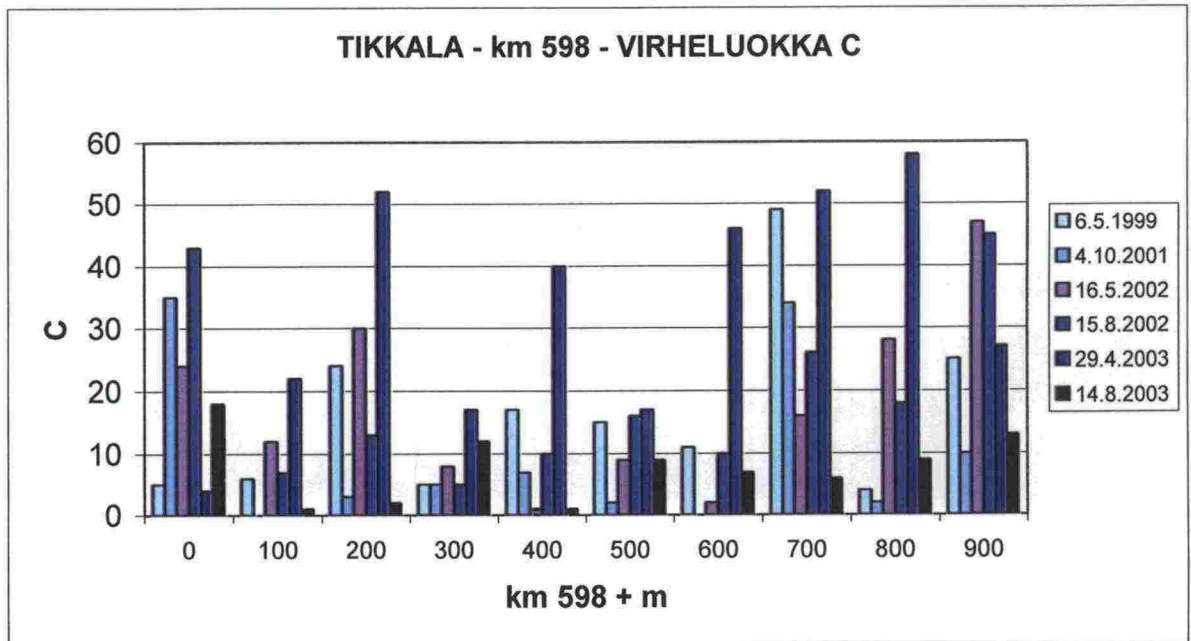
Kuva 2.3:12 Radantarkastustulokset, virheluokka C (km 595, sadan metrin välein).



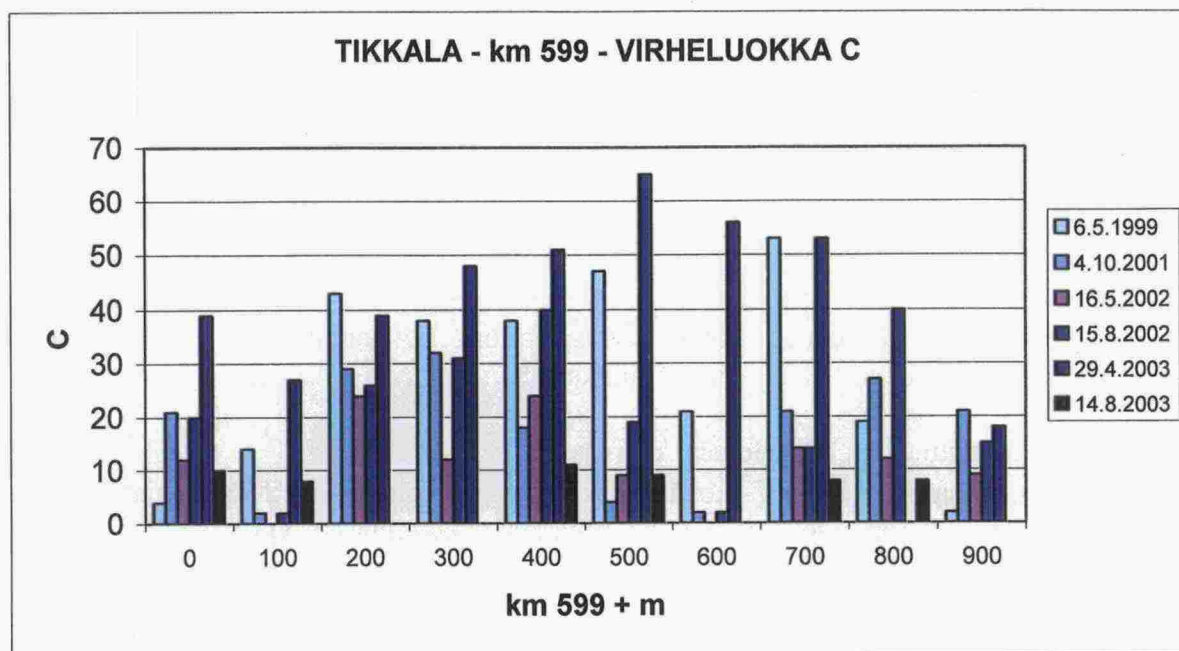
Kuva 2.3:13 Radantarkastustulokset, virheluokka C (km 596, sadan metrin välein).



Kuva 2.3:14 Radantarkastustulokset, virheluokka C (km 597, sadan metrin välein).



Kuva 2.3:15 Radantarkastustulokset, virheluokka C (km 598, sadan metrin välein).



Kuva 2.3:16 Radantarkastustulokset, virheluokka C (km 599, sadan metrin välein).

Taulukot, joihin on koottu kaikki Tikkalan rataoikaisuun liittyvät käytettävissä olleet radantarkastustulokset, löytyvät liitteinä raportin lopussa.

Radantarkastustulosten yhteenvetokuvia virheluokkien D ja * osalta löytyy liitteestä 3.

2.3.6 Johtopäätökset kohteen tilanteesta

Tikkalan kohdalla nykyinen rata kulkee suunnittelualueella pääosin metsän keskellä alavassa, soisessa maastossa. Siellä ratapenger painuu jatkuvasti ja sen vakavuus on erittäin huono. Vakavuuden parantaminen on arvioitu mahdolliseksi vain rakentamalla uusi rata. Tikkalan ratapihan kohdalla ja sen molemmin puolin on tutkittu vaihtoehdot:

- VeA → pääraide linjataan Tikkalan alikulkusillalta nykyiselle 2-raiteelle ja edelleen sen jatkeena 6,5 – 7,5 m etäisyydellä nykyisestä raiteesta varsinaisen oikaisujakson alkuun.
- VeB → pääraide on nykyisellä paikallaan ratapihan eteläpään asti, josta se linjataan viistosti ratapihan poikki siten, että etäisyys kasvaa oikaisujakson alkuun mennessä noin 20 m:iin nykyisestä radasta. Vertailun perusteella suunnitelma on päätetty jatkaa tämän vaihtoehdon pohjalta.

Varsinaisella oikaisujaksolla on tutkittu vaihtoehdot:

- Ve1 → uusi rata suuntautuu nykyisen radan erkanemiskohdasta Matinvaaan ja sen pohjoispuolisten suoalueiden kautta kuntarajalle, jossa se liittyy nykyiseen rataan.
- Ve2 → uusi rata on linjattu kuntarajan tuntumassa noin 90 m vaihtoehtoa 1 lännemmäksi, josta se voidaan johtaa liittymään nykyiseen rataan noin km:llä 597 tai jatkuamaan uutena ratana sen rinnalla. Vertailun perusteella suunnitelma on päätetty jatkaa tämän vaihtoehdon pohjalta.

Oikaisujakson pohjoispuolella on tutkittu vaihtoehdot:

- Ve1 → rata parannetaan nykyisellä paikallaan routaeristämällä tai tekemällä massanvaihto täyteen rakennekerrossyvyteen (2,20 m) sekä rakentamalla Lotokanjoen yli uusi ratasilta liikennekatkojen aikana joko siirto- tai elementtiratkaisuna.
- Ve2 → rakennetaan uusi rata nykyisen viereen 15 m etäisyydelle siitä ja Lotokanjoen yli uusi ratasilta, jonka pohjoispuolella uusi rata liitetään nykyiseen. Vertailun perusteella suunnitelmaa on päätetty jatkaa tämän vaihtoehdon pohjalta.
- Ve3 → rakennetaan uusi rata nykyisen viereen 15 m etäisyydelle siitä ja liitetään se nykyiseen rataan ennen Lotokanjokea, jolloin Lotokanjoen siltavaihtoehdot ja toteuttamistapa ovat vaihtoehdon 1 mukaiset.

Radantarkastustulosten tarkastelusta kävivät ilmi seuraavat asiat:

- Kohta, jossa oli vähiten C-luokan virheitä, näyttää olevan km 596. Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että km:llä 596 maanpinnassa on tiivis maakerros.
- Luokissa D ja * on hieman enemmän virheitä rataosan lopussa kuin alussa. Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että km:llä 597, 598 ja 599 maanpinnassa on enimmäkseen silttiä, mutta myös savea ja savista silttiä esiintyy. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että pengeri on korkea.
- Muulloin trendiä ei näytä olevan ja virheitä on melko tasaisesti jokaisella kilometrillä ja jokaisena mittauspäivänä.
- Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että välillä km 593+450 ja 594+100 on joka puolella runsaasti vettä. Tällä välillä ei kuitenkaan ole erityistä määrää virheitä.

Näyttää siltä, että radantarkastustulosten perusteella ongelmallisimmiksi osoittautuneet paikat eivät ole yhteneviä pohjasuhteiden perusteella stabiliteetiltään ongelmallisimmiksi otaksuttujen paikkojen kanssa.

2.4 Kiimasuon rataoikaisu

2.4.1 Käytettävissä olleet asiakirjat

Kiimasuon kohteeseen liittyvästä aineistosta löytyvät Oy VR-Rata Ab:n laatimat lausunnot ratapenkereen vakavuudesta ja stabiliteetista (tilapäinen nopeusrajoitus, siirtymät ja painumat) välillä km 155+650–156+400. Aineistossa ovat myös pehmeikköalueen yleissuunnitelma km 155+200–156+800 ja rataoikaisun yleissuunnitelma piirustuksineen:

- normaalipoikkileikkauksia km 156+000–156+800
- erikoistyyppipoikkileikkauksia
- vaihtoehtojen poikkileikkaukset eri paaluilta ja pituusleikkaukset
- pohjatutkimuskartta/asemapiirustus: 155+200–156+000 ja 156+000–156+800.

Lisäksi radantarkastustulokset ovat olleet käytettävissä seuraavilta päiviltä: 5.8.2003, 12.11.2003 ja 31.3.2004.

Professori Pauli Kolisoja ja tutkija Fabrizio Brecciaroli kävivät oikaisukohteen maastossa 23.11.2003.

2.4.2 Suunnittelukohteen yleiskuvaus

Suunnittelukohde sijaitsee Kylmäkosken Aseman ja Urjalan Aseman välillä noin 50 km Tampereelta lounaaseen. Rataoikaisun suunnittelualue sijaitsee kilometrivälillä noin 155+200–156+800.

Alue on pääosin sulkeutunutta metsämaisemaa. Avoimia peltonäkymiä on suunnittelualueen eteläosassa. Maaston muodoltaan alue on tasaista. Nykyisen radan välittömässä läheisyydessä ei ole asuinrakennuksia.

Suunnittelualueella nykyisellä radalla ei ole tasonkorjauksia. Väleillä km 155+650–156+000 ja km 156+100–156+400 rata on painunut niin, että alueelle on jouduttu asettamaan nopeusrajoitus 80 km/h. Ennen km 155+650 nopeusrajoitus on 140 km/h. Rataosa on yksiraiteinen ja sähköistetty.

Alueella on kolme erillistä pehmeikköä, moreenia ja kaksi pientä kallioesiintymää. Pehmeiköt muodostuvat turpeesta. Osalla aluetta on turpeen alapuolella savea.

Ensimmäisen pehmeikön pituus radan suunnassa on noin 400 m. Pehmeikön yläosassa on enimmillään 3 m turvetta ja sen alapuolella on savea. Saven paksuus on 0,5–4 m. Enimmillään pehmeikön paksuus on 7 m. Saven alla on kivistä soraa ja moreenia, johon on paino- ja heijarikairauksilla päästy 0–5 m.

Toisen pehmeikön pituus radan suunnassa on noin 350 m. Sen yläosassa on 2–3 m turvetta. Turve on maaton ja keskinkertaisesti maaton. Turpeen alla on 1–2 m paksu savikerros. Osalla aluetta on saven yläpinnassa noin puolen metrin kerros savista silttiä. Pehmeiden kerrosten paksuus on enimmillään 4 m. Saven alla on kivistä moreenia.

Kolmannen pehmeikön pituus radan suunnassa on noin 100 m ja se muodostuu enimmillään 3 m paksusta turvekerroksesta.

Toisen ja kolmannen pehmeikön välissä on matalaa kalliota noin 20 m radan suunnassa. Kalliota on myös tutkitun alueen alussa, jossa nykyinen rata on kallioleikkauksessa.

Kiimasuon kohdalla ratapenkereen vakavuus on ollut erittäin huono. Nykyisen radan vakavuutta on suunniteltu parannettavaksi joko paikallaan (VE0/1 → vastapenkereet ja VE0/2 → paalutus) tai siten rakentamalla rata uudelle paikalle (VE1 → nykyisen raiteen vasemmalle ja VE2 → nykyisen raiteen oikealle).

2.4.3 Käsillä olevat ongelmat ja ratkaisuvaihtoehdot

Ratapenkereen vakavuus alueella on ollut Oy VR-Rata Ab:n stabiliteettilaskelmien mukaan erittäin huono, jopa alle $F = 1,0$. Keväällä 1998 toteutettu radan pieni nosto, pingerlevitykset ja puupölkkyjen vaihto betonipölkkyiksi ovat lisänneet radan kuormitusta ja huonontaneet radan vakavuutta entisestään. Ratajohtopylväiden paalutus ja sen aiheuttama tärinä ovat lisäksi aiheuttaneet häiriintymistä penkereessä ja sen alla olevassa turpeessa.

Väleillä km 155+650–156+000 ja 156+100–156+400 rata on painunut ja liikkunut niin, että alueelle on jouduttu asettamaan nopeusrajoitus 80 km/h ja rata vaatii jatkuvaa kunnossapitoa. Rata on painunut varsinkin paalutettujen ratajohtopylväsperustusten kohdalla. Painuma on ollut toispuolista siten, että painumat ovat olleet noin 5 cm (keväällä 1998) suuremmat radan oikealla puolella (ratajohtopylväiden puolella), Painuma-alueilla on turvetta 1–4 m ja sen alla on savea 1–2 m. Saven alla on hiekkaa ja moreenia.

Kesällä 1998 rakennettiin nykyisen radan kummallekin puolelle 0,4 m paksut ja 4 m leveät vastapenkereet. Näillä pienillä vastapenkereillä parannettiin radan vakavuutta vastaamaan aiempaa tilannetta (ennen päällysrakenteen uusimista). Suurempia vastapenkereitä ei voitu kerralla tehdä, vaan vastapenkereitä voidaan korottaa ja leventää vasta vuosien myötä.

Alueella tehtiin 22.6.–10.8.1998 takymetrimittauksia, joilla seurattiin raiteen mahdollisia liikkeitä. Mittaustulosten mukaan raiteessa on todettu siirtymiä, joiden suuruus enimmillään on ollut lähes 50 mm verrattuna ensimmäiseen mittaustilanteeseen. Siirtymiä on ollut lähinnä mittauksen alkuvaiheessa ja ne ovat kuvastaneet samoja raiteen liikkeitä, joista koko tämä seuranta alkoi. Viimeisen ja ensimmäisen mittauksen erot ovat olleet suuruusluokkaa 10–20 mm. Takymetrimittausten tarkkuus xy-suunnassa on noin 5–10 mm. Oy VR-Rata Ab:n mittaustuloksista voidaan todeta, että raiteen pysyvyys on huono, mutta kuitenkin siirtymät eivät viittaa käynnissä olevaan sortumaan.

Nykyisen radan vakavuus on niin huono, että tilanteen säilyttäminen nykyisellään (vain pienet vastapenkereet) saattaa olla riski junaturvallisuudelle. Tätä riskiä suurentavat käynnissä olevat liikkeet ratapenkereessä ja turpeessa penkereen alla. Raskaan tavara-liikenteen määrän ja junapainon lisääntyminen huonontavat osaltaan radan vakavuutta ja vaarantavat siten entisestään junaturvallisuutta. Nykyisen radan vakavuutta on suunniteltu parannettavaksi joko paikallaan tai rakentamalla rata uudelle paikalle.

VE0/1 → Rata nykyisellä paikalla, vastapenkereet

Vastapenger materiaalina käytetään hiekkaa tai soraa, jonka laskennallinen tilavuuspaino on 17 kN/m^3 . Käytettävän materiaalin poiketessa tästä tilavuuspainosta vastapenkereen korkeutta muutetaan vastaavasti. Vastapenkereet rakennetaan kerroksittain, kun kerrospaksuus on yli 0,5 m. Vastapenkereiden alle asennetaan suodatinkangas (kl 4, paino $\geq 300 \text{ g/m}^2$) estämään pistemäisiä repeämisiä turpeessa. Osa vastapenkereistä tehdään vaiheittain niin, että vastapenkereen korotusten väli on 3–5 vuotta. Kerralla tehtävän vastapenkereen korkeus on 0,4 m. Vastapenger tehdään jo ensimmäisessä vaiheessa täyteen leveyteensä. Vastapenkereiden levitys tehdään puskutraktorilla aloittaen jo tehdyn vastapenkereen päältä. Jos alueella ei ennestään ole vastapenkereitä, vastapenkereiden teko aloitetaan alueen päästä. Vastapenkereitä ei tiivistetä.

Vastapenkereillä saadaan raiteen vakavuutta parannettua 10–20 %. Pysyvänä ratkaisuna vastapenkereet ovat kuitenkin huono ratkaisu seuraavista syistä:

- Raiteen vakavuus jää alhaiseksi (varmuuskerroin $F = 1,1 - 1,2$).

- Kunnossapitotarve kasvaa, koska vastapenkereet painuvat ja aiheuttavat myös raiteen painumista. Painumisen seurauksena raidetta ja vastapenkereitä on korotettava, mikä taas lisää painumista.
- Nopeuksia ei todennäköisesti pystytä myöhemminkään nostamaan kuin tasolle 140–160 km/h. Näin siksi, että turpeen varaan tehty matala ratapenger alkaa mahdollisesti värähdellä haitallisesti junan nopeuden noustessa maassa etenevän pinta-aallon nopeutta suuremmaksi. Vastapenkereet eivät poista tätä värähtelyä.

Sellaisen vaatimustason saavuttaminen, jossa raiteen vakavuus on riittävä ($F \geq 1,5$) ja jolla voidaan käyttää suuria nopeuksia, edellyttää seuraavia vaihtoehtoisia pohjavahvistustapoja:

- Rata perustetaan paaluille nykyisellä paikallaan. Paalut lyödään aukean tilan ulottuman (ATU) ulkopuolella ja liikennekatkon aikana asennetaan paalujen päälle kolmen paalun elementtihatut.
- Rata siirretään sivuun nykyiseltä paikaltaan, jolloin raide voidaan perustaa massanvaihdon tai massanvaihdon ja paalulaatan varaan liikennettä häiritsemättä.

VE0/2 → Rata nykyisellä paikalla, paalutus

Ratalinja pysyy nykyisellä paikallaan ja rata perustetaan paalulaatalle. Nykyisen radan perustaminen paaluille kovan pohja varaan on ainoa pohjavahvistustapa, jolla varmistetaan radan vakavuus, pysyvyys ja painumattomuus lopullisessa tilanteessa. Paaluina käytetään Ø 140 mm putkipaaluja, jotka betonoidaan sisältä. Vaihtoehtoisesti käytetään x-paaluja, joiden kantavuus on vastaava korroosio huomioon ottaen. Näiden paalujen lyönti aiheuttaa vähiten liikkeitä raiteessa, kun paalutetaan nykyisen ratapenkereen läpi. Paalut lyödään raidevarauksen ja liikennekatkon aikana joko yötyönä tai pitemmällä katkolla.

Paalujen päälle tulevassa laatassa on kolme eri vaihtoehtoa:

- Laatta valetaan paikalla liikennekatkon aikana.
- Valetaan kaksi radan pituussuuntaista palkkia, joiden päälle asennetaan elementtilaatat liikennekatkon aikana. Palkit voidaan valaa tukiseinien avulla tai liikennekatkon aikana. Tukiseinät lyödään liikennekatkon/raidevarauksen aikana.
- Asennetaan paalujen päälle kolmen paalun elementtipaaluhatut liikennekatkon aikana.

Raiteessa ja maapohjassa tapahtuvia liikkeitä seurataan huokosvedenpainemittauksilla ja inklinometrimittauksilla paalutustyön aikana ja sen jälkeen. Mittauspisteet sijoitetaan enintään 40 m välein radan suunnassa.

Radan paaluttaminen nykyiselle paikalle sisältää paljon riskejä, haittaa liikennettä ja on kallis. Sen toteutuminen on toisin sanoen epätodennäköistä.

VE1 ja VE2 → Rata nykyisen raiteen vasemmalla (VE1) ja oikealla (VE2) puolella, massanvaihto ja paalutus

Rata perustetaan massanvaihdolle, kun pehmeiden maakerrosten syvyys on korkeintaan 4 m. Massanvaihto tehdään liikennekatkon aikana, jos nykyinen rata on massanvaihto-

kaivannon läheisyydessä. Massanvaihto tehdään pehmeiden moreenikerrosten yläpinnan tasoon seuraavia rajoituksia noudattaen:

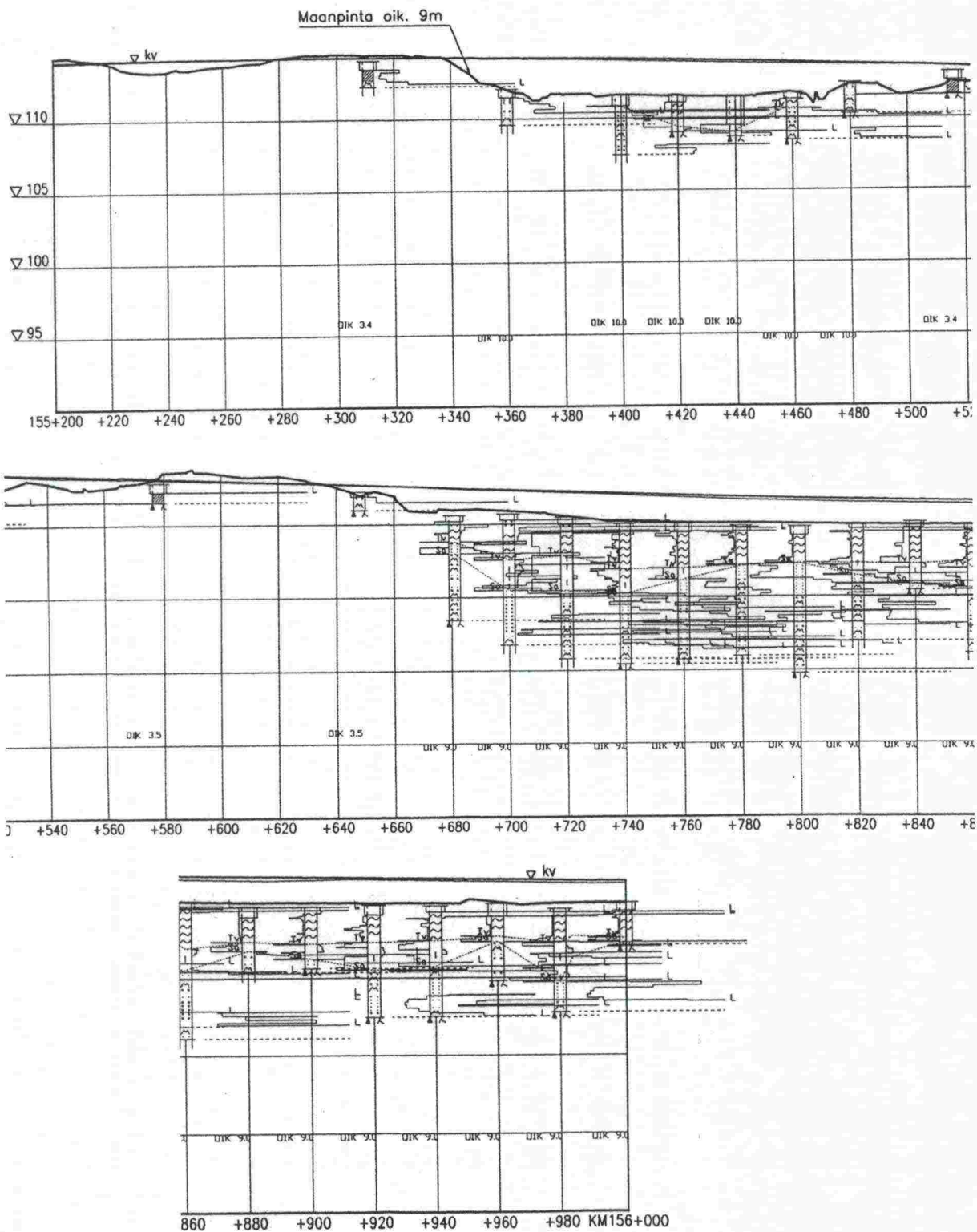
- Täyttö seuraa kaivua niin, että kaivannon pohjan pituus radan suunnassa on korkeintaan 10 m.
- Työvuoron päättyessä kaivanto täytetään vähintään tasoon 'maanpinta-1 m'.

Rata perustetaan paalulaatalle, kun pehmeikön syvyys on yli 4 m tai massanvaihto ei ole mahdollista nykyisen raiteen läheisyyden takia. Alueen lopussa olevaa kalliota joudutaan louhimaan, kun oikaisu on nykyisen radan oikealla puolella.

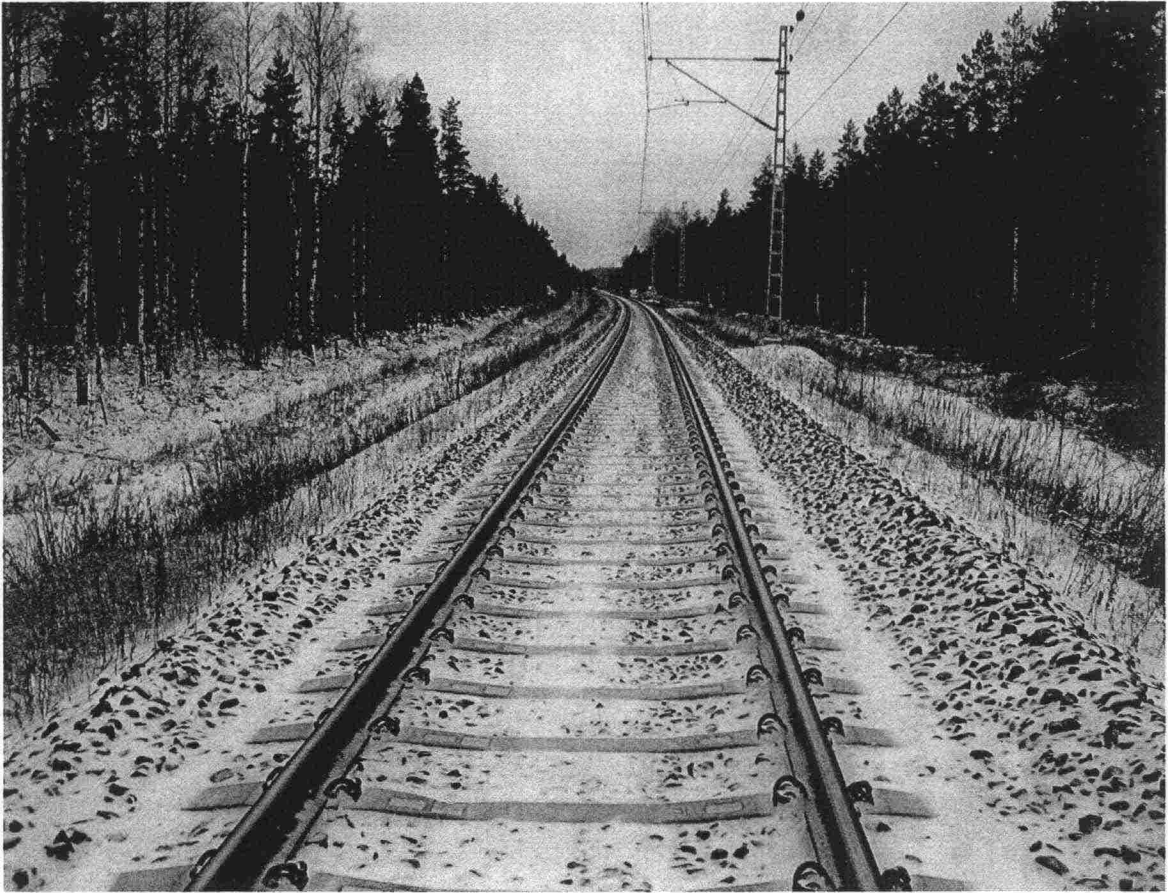
2.4.4 Nykyisen ratalinjauksen pohjaolosuhteet

Km 155+200 – km 155+680

Rata sijaitsee moreenileikkauksessa, jossa on vähäinen kallio-osuus. Km 155+380 ja km 155+480 välillä on kuitenkin turvetta, jonka paksuus ratapenkereen vieressä on enimmillään 3 m (kuva 2.4:1). Turvealueella ratapenkereen alaosa on painunut 0,5–1,0 m maanpinnan alapuolelle. Penger on matala ja yleensä rata-alueen ulkopuolella olevaa maastoa alempana (kuva 2.4:2). Vain km 155+445 läheisyydessä penger on korkea. Km 155+660:llä todella pieni oja virtaa radan ali.



Kuva 2.4:1 Pituuspohjatutkimusleikkaus km 155+200:n ja 156+000:n välillä (1:2000 / 1:400).



Kuva 2.4:2 Näkymä km 155+660:ltä etelään.

Km 155+680 – km 156+050

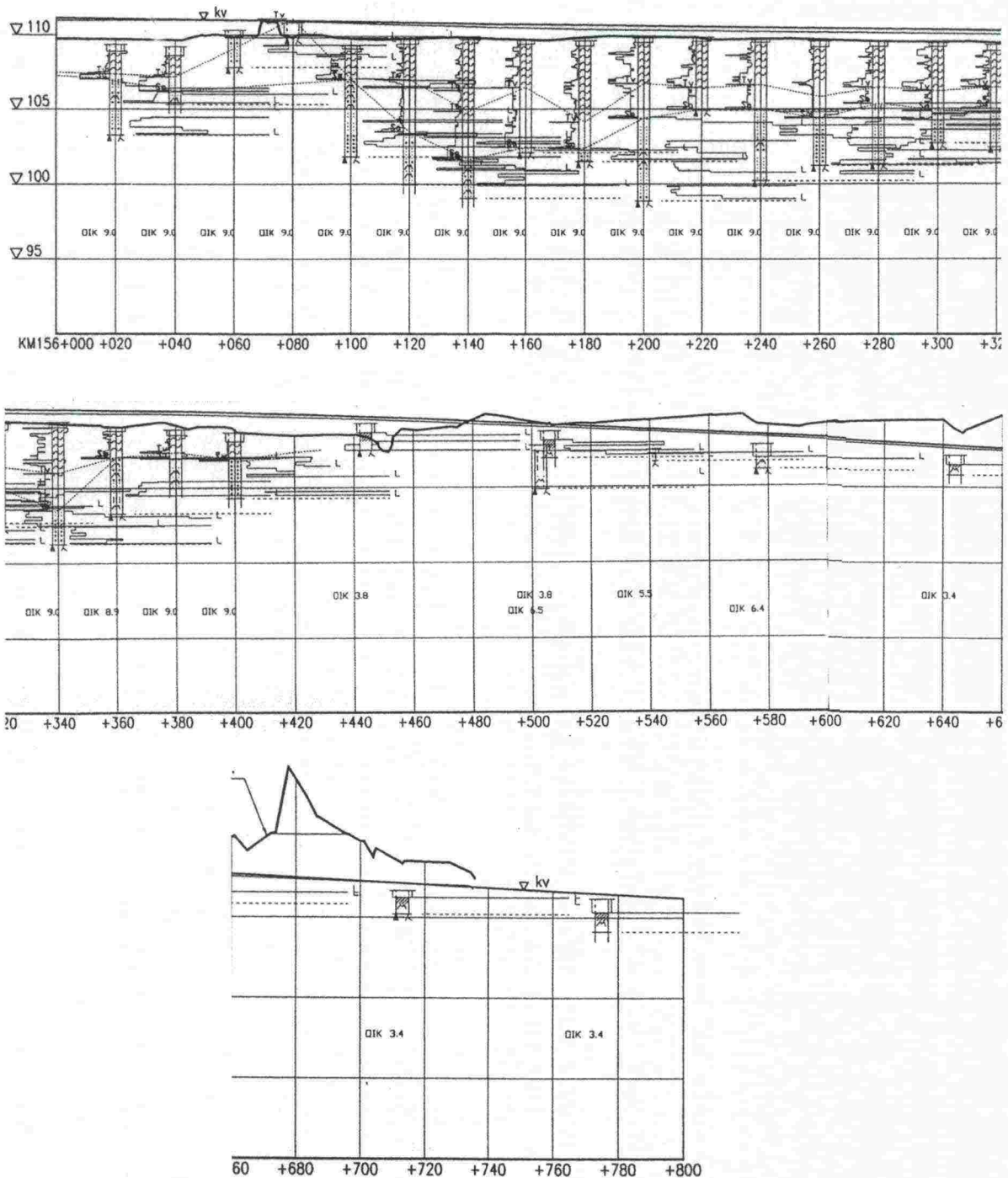
Rata sijaitsee pehmeiköllä, jossa maanpinnassa on turvetta enimmillään 2–3 m ja sen alla on savea enimmillään 2 m. Saven yläpinnassa on ohut savinen silttikerros, muuten savi on pehmeää. Turpeen ja saven paksuus on enimmillään 4 m. Ratapenkereen alaosa on painunut 1–1,5 m alkuperäisen maanpinnan alapuolelle. Penger on korkeampi kuin edellisellä jaksolla, mutta ei ole kuitenkaan korkea. Pieni huoltotie kulkee penkereen länsipuolella. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että kiskojen painumat ovat epätasaisia.

Km 156+050 – km 156+090

Rata on moreenileikkauksessa. Penger on matala ja melkein ympäröivää maastoa alempana. Pieni huoltotie kulkee penkereen länsipuolella.

Km 156+090 – km 156+350

Rata sijaitsee pehmeiköllä, jossa maanpinnassa on turvetta ja liejua enimmillään 4 m ja sen alla on savea enimmillään 4 m (kuva 2.4:3). Turpeen, liejun ja saven paksuus on enimmillään 7 m. Ratapenger on alaosaltaan painunut 1–1,5 m alkuperäisen maanpinnan alapuolelle. Penger on matala ja melkein ympäröivää maastoa alempana. Pieni huoltotie kulkee penkereen länsipuolella.



Kuva 2.4:3 Pituuspohjatutkimusleikkaus km 156+000:n ja 156+800:n välillä (1:2000 / 1:400).

Km 156+350 – km 156+450

Rata sijaitsee pehmeiköllä, jossa maanpinnassa on turvetta enimmillään 2 m ja sen alla on savea enimmillään 1 m. Turpeen ja saveen paksuus on yhteensä enimmillään 2 m. Ratapenger on alaosaltaan painunut 0,5–1,0 m alkuperäisen maanpinnan alapuolelle. Penger on matala ja melkein ympäröivää maastoa alempana.

Km 156+450 – km 156+700

Rata on moreenileikkauksessa ja välin lopussa kallioleikkauksessa. Penger on matala ja melkein ympäröivää maastoa alempana. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että rata-alueen ulkopuolella on sekä metsää että avoimia peltoja.

2.4.5 Radantarkastustulosten tarkastelu

Taulukkoihin 2.4:1 ja 2.4:2 on koottu kaikki Kiimasuon kohdalla olevaan rataosaan liittyvät käytettävissä olleet radantarkastustulokset. Mittaukset on tehty vain 5.8.2003, 12.11.2003 ja 31.3.2004. Mittauspäivä, jolloin virheitä oli eniten, on 5.8.2003. Kohta, jossa oli eniten virheitä, on km 155. D-luokan virheitä on paljon vähemmän kuin C-luokan virheitä. *-luokan virheitä ei näissä mittauksissa ole esiintynyt. Vaikka D-luokan virheitä on vähän ja *-luokan virheitä ei ole yhtään, kiskojen painumat ovat paikoin hyvin epätasaisia.

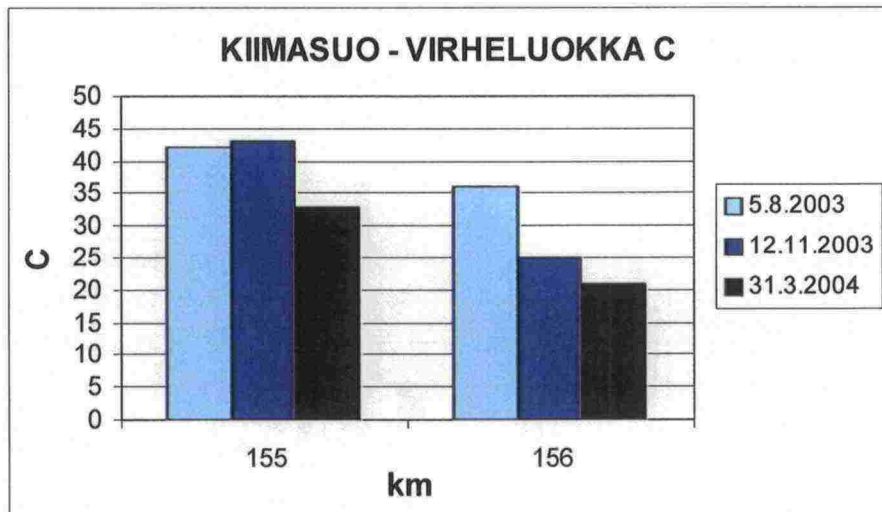
*Taulukko 2.4:1 Kiimasuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset C, D ja *-luokkien virheiden osalta (5.8.2003 ja 12.11.2003).*

KIIMASUO									
5.8.2003					12.11.2003				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
155	0 – 100	1			155	0 – 100			
	101 – 200					101 – 200			
	201 – 300	13	1			201 – 300	10		
	301 – 400					301 – 400			
	401 – 500	7				401 – 500	3		
	501 – 600	2				501 – 600	2		
	601 – 700	1				601 – 700	4		
	701 – 800	11	1			701 – 800	14	2	
	801 – 900	7				801 – 900	9		
	901 – 1000					901 – 1000	1		
	0 – 1000	42	2	0		0 – 1000	43	2	0
156	0 – 100				156	0 – 100			
	101 – 200					101 – 200	1		
	201 – 300	2				201 – 300			
	301 – 400	11	1			301 – 400	3		
	401 – 500					401 – 500			
	501 – 600	12				501 – 600	9		
	601 – 700	7	1			601 – 700	7	2	
	701 – 800					701 – 800	1		
	801 – 900					801 – 900			
	901 – 1000	4				901 – 1000	4		
	0 – 1000	36	2	0		0 – 1000	25	2	0

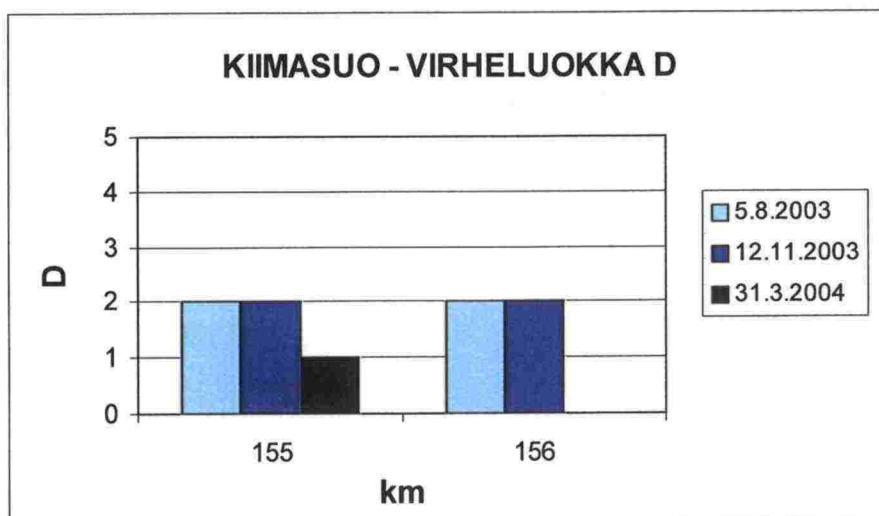
Taulukko 2.4:2 Kiimasuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset C, D ja *-luokkien virheiden osalta (31.3.2004).

KIIMASUO									
31.3.2004									
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
155 (?)	0 – 100				156 (?)	0 – 100			
	101 – 200	2				101 – 200			
	201 – 300	13	1			201 – 300			
	301 – 400					301 – 400			
	401 – 500	7				401 – 500			
	501 – 600	3				501 – 600	11		
	601 – 700	4				601 – 700	4		
	701 – 800	4				701 – 800	1		
	801 – 900					801 – 900			
	901 – 1000					901 – 1000	5		
0 – 1000		33	1	0	0 – 1000	21	0	0	

Kuviin 2.4:4 ja 2.4:5 on koottu yhteenvedot Kiimasuon kohdalla olevaan rataosaan liittyvistä käytettävissä olleista radantarkastustuloksista. Kuvissa esitetyt arvot ovat jokaisen virheluokan virheiden kokonaismääriä yhden kilometrin matkalta. Mittauspäivät ovat 5.8.2003, 12.11.2003 ja 31.3.2004.

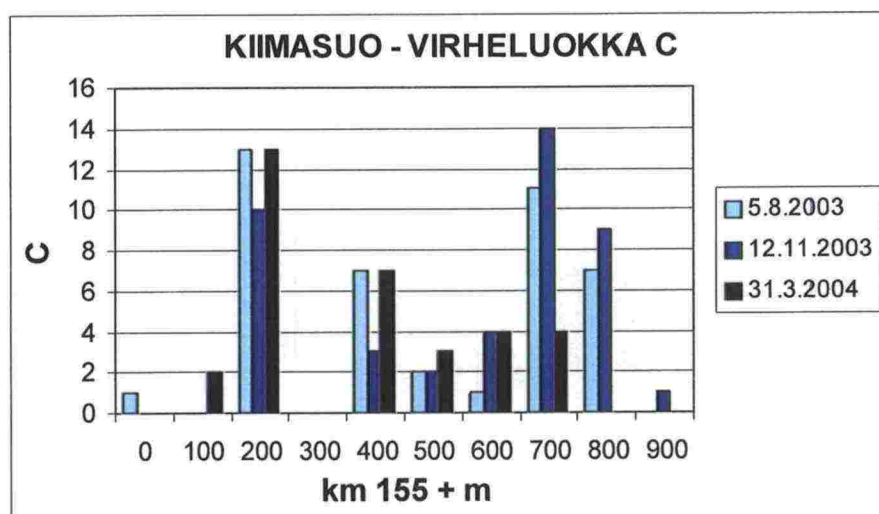


Kuva 2.4:4 Radantarkastustulokset, virheluokka C (koko Kiimasuon kohdalla oleva rataosa, yhden kilometrin välein).

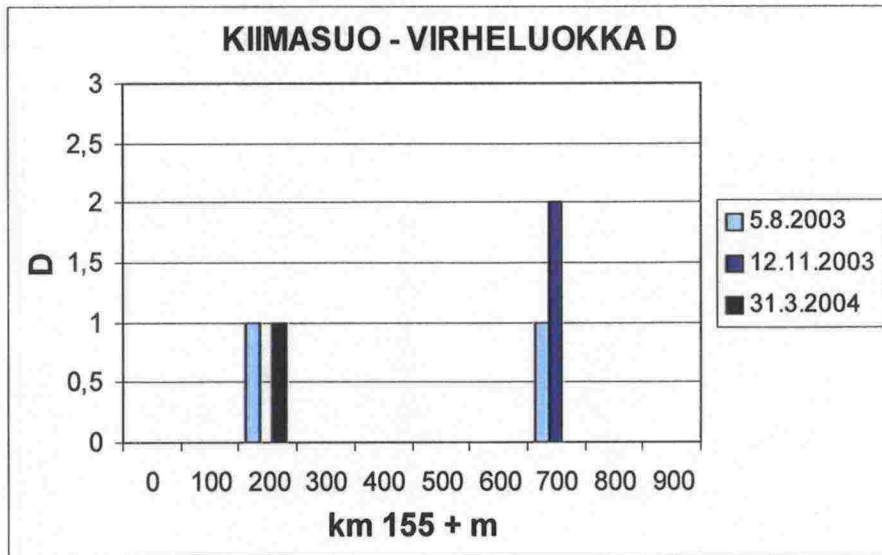


Kuva 2.4:5 Radantarkastustulokset, virheluokka D (koko Kiimasuon kohdalla olevaan rataosaan, yhden kilometrin välein).

Kuviin 2.4:6 ja 2.4:7 on koottu lisää yhteenvetoja Kiimasuon kohdalla olevaan rataosaan liittyvistä käytettävissä olleista radantarkastustuloksista. Kuvissa esitetyt arvot ovat jokaisen virheluokan virheiden määriä sadan metrin välein km:llä 155. Mittauspäivät ovat samoja kuin edellisissä kuvissa. Kuvista käy ilmi, että suurin osa virheistä sijaitsee väleillä 200–300 m sekä 700–800 m. C-luokan virheet kasaantuvat jonkin verran myös väleillä 400–500 m ja 800–900 m. Näillä väleillä D-luokan virheitä ei esiinny.

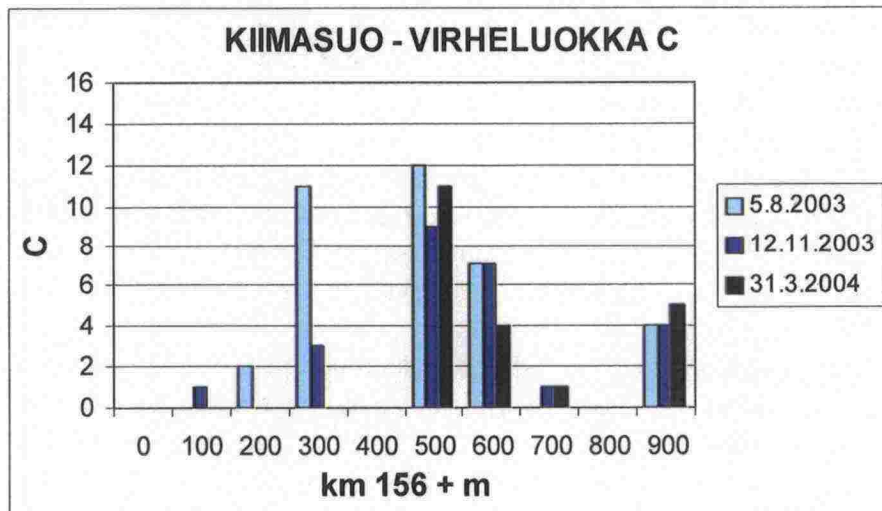


Kuva 2.4:6 Radantarkastustulokset, virheluokka C (km 155, sadan metrin välein).

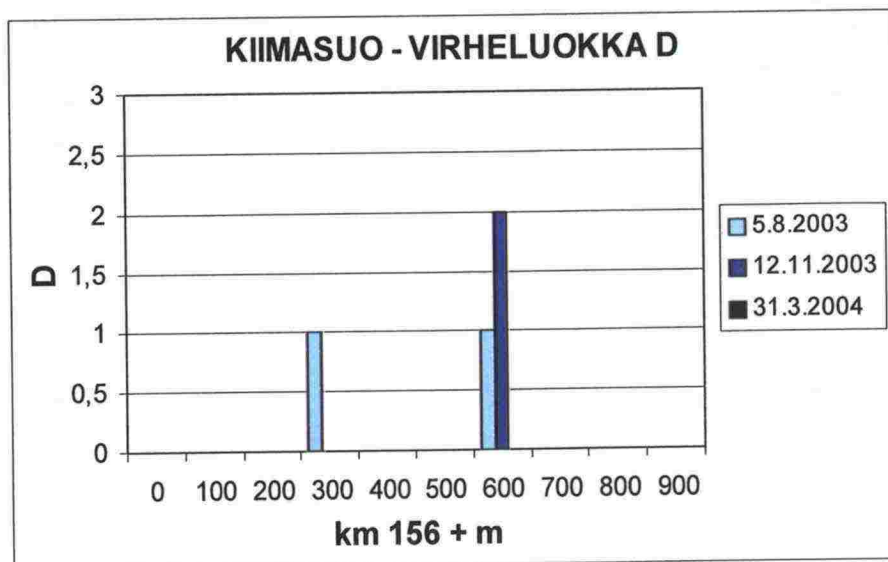


Kuva 2.4:7 Radantarkastustulokset, virheluokka D (km 155, sadan metrin välein).

Kuviin 2.4:8 ja 2.4:9 on koottu lisää yhteenvetoja Kiimasuon kohdalla olevaan rataosaan liittyvistä käytettävissä olleista radantarkastustuloksista. Kuvissa esitetyt arvot ovat jokaisen virheluokan virheiden määriä sadan metrin välein km:llä 156. Mittauspäivät ovat samoja kuin edellisissä kuvissa. Kuvista käy ilmi, että suurin osa virheistä sijaitsee väleillä 300–400 m, 500–700 m ja 900–1000 m. Viimeinen väli on kuitenkin suunnittelualan ulkopuolella.



Kuva 2.4:8 Radantarkastustulokset, virheluokka C (km 156, sadan metrin välein).



Kuva 2.4:9 Radantarkastustulokset, virheluokka D (km 156, sadan metrin välein).

2.4.6 Johtopäätökset kohteen tilanteesta

Kiimasuon kohdalla on kolme erillistä pehmeikköä, moreenia ja kaksi pientä kallioesiintymää. Pehmeiköt muodostuvat turpeesta. Osassa aluetta on turpeen alapuolella savea. Väleillä km 155+650–156+000 ja 156+100–156+400 rata on painunut ja liikkunut niin, että alueelle on jouduttu asettamaan nopeusrajoitus 80 km/h ja rata vaatii jatkuvaa kunnossapitoa. Painuma-alueilla on turvetta 1–4 m ja sen alla savea 1–2 m. Saven alla on hiekkaa ja moreenia. Alueella ratapenkereen vakavuus on ollut stabiilitilaskelmien mukaan erittäin huono, jopa alle $F = 1,0$. Nykyisen radan vakavuutta on suunniteltu parannettavaksi joko paikallaan:

- VE0/1 (vastapenkereet) → Vastapenkereillä saadaan raiteen vakavuutta parannettua 10–20 %. Pysyvänä ratkaisuna vastapenkereet ovat kuitenkin huono ratkaisu, koska raiteen vakavuus jää alhaiseksi (varmuuskerroin $F = 1,1 - 1,2$), kunnossapitotarve kasvaa ja nopeuksia ei todennäköisesti pystytä myöhemminkään nostamaan kuin tasolle 140–160 km/h.
- VE0/2 (paalutus) → Nykyisen radan perustaminen paaluille kovan pohja varaan on ainoa pohjavahvistustapa, jolla varmistetaan radan vakavuus, pysyvyys ja painumattomuus lopullisessa tilanteessa. Radan paaluttaminen nykyiselle paikalle sisältää paljon riskejä, haittaa liikennettä ja on kallis. Sen toteutuminen on toisin sanoen epä-todennäköistä.

tai rakentamalla rata uudelle paikalle (VE1 → nykyisen raiteen vasemmalle ja VE2 → nykyisen raiteen oikealle). Uusi rata perustetaan massanvaihdolle, kun pehmeiden maakerrosten syvyys on korkeintaan 4 m ja paalulaatalle, kun pehmeikön syvyys on yli 4 m tai massanvaihto ei ole mahdollista nykyisen raiteen läheisyyden takia.

Radantarkastustulosten tarkastelusta kävivät ilmi seuraavat asiat:

- Km:llä 155 C-luokan virheet kasaantuvat väleillä 400–500 m ja 800–900 m sekä erityisesti 200–300 m ja 700–800 m. D-luokan virheet kasaantuvat väleillä 200–

300 m ja 700–800 m. Sen sijaan välillä 300–400 m virheitä ei käytettävissä olevissa mittauksissa ole esiintynyt.

- Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että välillä 200–300 m rata sijaitsee moreenileikkauksessa, jossa on vähäinen kallio-osuus. Tälle välille ei ole asetettu 80 km/h nopeusrajoitusta. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että penger on matala ja yleensä ympäröivää maastoa alempana.
- Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että välillä 300–380 m rata sijaitsee moreenileikkauksessa, jossa on vähäinen kallio-osuus, ja että välillä 380–400 m rata sijaitsee pehmeiköllä, joka ulottuu 480 m:iin asti ja muodostuu enimmillään 3 m paksusta turvekerroksesta. Pehmeiköllä ratapenkereen alaosa on painunut 0,5–1,0 m maanpinnan alapuolelle. Tälle välille ei kuitenkaan ole asetettu 80 km/h nopeusrajoitusta. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että penger on matala ja yleensä ympäröivää maastoa alempana.
- Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että välillä 400–480 m rata sijaitsee pehmeiköllä, joka muodostuu enimmillään 3 m paksusta turvekerroksesta, ja että välillä 480–500 m rata sijaitsee moreenileikkauksessa, jossa on vähäinen kallio-osuus. Pehmeiköllä ratapenkereen alaosa on painunut 0,5–1,0 m maanpinnan alapuolelle. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että penger on matala. Penger muuttuu vähän korkeammaksi km 155+445:n läheisyydessä.
- Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että välillä 700–900 m rata kulkee suon yli. Pehmeikön yläosassa on maatonutta ja keskinkertaisesti maatonutta turvetta enimmillään 2–3 m ja sen alla savea enimmillään 2 m. Osalla aluetta on saven yläpinnalla noin puolen metrin kerros savista silttiä, muuten savi on pehmeää. Turpeen ja saven eli pehmeiden kerrosten paksuus on enimmillään 4 m. Saven alla on kivistä moreenia. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että ratalinja on selvästi painunut ja kiskojen painumat ovat epätasaisia. Suurimmat painumat on havaittavissa paalutettujen sähköpylväiden perustusten kohdilla. Tällä välillä on voimassa nopeusrajoitus 80 km/h.

– Km:llä 156 C-luokan virheet kasaantuvat väleillä 300–400 m, 600–700 m, 900–1000 sekä erityisesti 500–600 m. D-luokan virheet kasaantuvat väleillä 300–400 m sekä erityisesti 600–700 m. Sen sijaan väleillä 0–100 m ja 400–500 m ja 800–900 m virheitä ei käytettävissä olevissa mittauksissa ole esiintynyt. Väli 800–1000 m on kuitenkin suunnittelualueen ulkopuolella.

- Pohjatutkimusten perusteella on todettavissa, että rata sijaitsee pehmeiköllä väleillä 0–50 m sekä 90–100 m ja moreenileikkauksessa välillä 50–90 m. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että penger on matala ja melkein ympäröivää maastoa alempana.
- Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että välillä 300–400 m rata sijaitsee pehmeiköllä. Pehmeikön yläosassa on turvetta ja liejua ja sen alapuolella on savea. Turpeen, liejun ja saven paksuus enimmillään on 7 m välillä 300–350 m ja 2 m välillä 350–400 m. Saven alla on kivistä soraa ja moreenia, johon on paino- ja heijarikairauksilla päästy 0–5 m. Ratapenkereen alaosa on painunut alkuperäisen maanpinnan alapuolelle 1–1,5 m välillä 300–350 m ja 0,5–1,0 m välillä 350–400 m. Molemmille väleille on asetettu 80 km/h nopeusrajoitus. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että penger on matala ja melkein ympäröivää maastoa alempana.
- Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että välillä 400–450 m rata sijaitsee pehmeiköllä. Pehmeikön yläosassa on turvetta enimmillään 2 m ja sen alla

on savea enimmillään 1 m. Turpeen ja saven paksuus yhteensä on enimmillään 2 m. Ratapenkereen alaosa on painunut 0,5–1,0 m alkuperäisen maanpinnan alapuolelle. Välillä 450–500 m rata on moreenileikkauksessa. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että penger on matala ja melkein ympäröivää maastoa alempana.

- Pohjatutkimuksen perusteella on todettavissa, että välillä 500–700 m rata sijaitsee moreenileikkauksessa. Maastokäynnin yhteydessä todettiin, että penger on matala ja melkein ympäröivää maastoa alempana.

Näyttää siltä, että radantarkastustulosten perusteella ongelmallisimmiksi osoittautuneet paikat eivät ole yhteneviä pohjasuhteiden perusteella stabiliteetiltaan ongelmallisimmiksi otaksuttujen paikkojen kanssa. Virheet kasaantuvat sekä pehmeiköllä että moreenileikkauksessa sijaitsevilla rataosilla.

3 STABILITEETTITILANTEEN SEURANTAMITTAUSMENETELMÄT

3.1 Siirtymämittaukseen perustuvat menetelmät

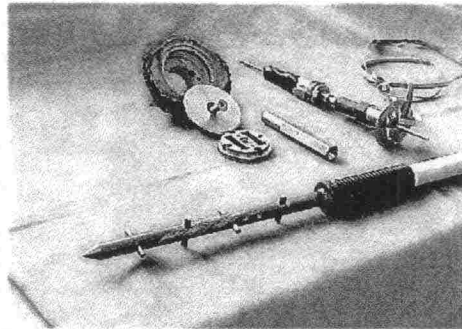
3.1.1 Suorat siirtymämittaukset

Tässä kappaleessa esitellään kaksi siirtymämittaukseen perustuvaa mittausjärjestelmää, jotka on kehitetty alun perin muihin käyttötarkoituksiin, mutta jotka voisivat olla sovellettavissa myös ratarakenteiden stabiliteettitilanteen seurantaan.

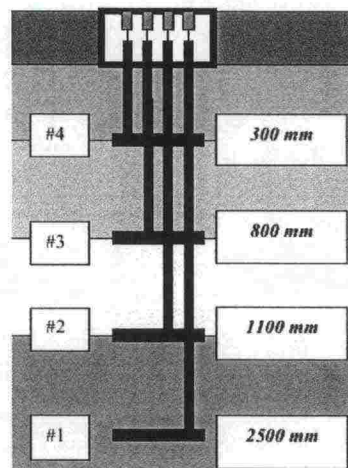
Multi-Depth Deflektometri

Multi-Depth Deflektometri (MDD) on Dynatestin järjestelmä, jota käytetään kimmoisten ja/tai pysyvien muodonmuutosten in-situ-mittauksiin esimerkiksi tien päällysrakennekerroksissa. Kimmoisia muodonmuutoksia voidaan käyttää tehollisen kimmoduulin määrittämiseen eri päällysrakennekerroksista.

MDD koostuu sarjasta Linear Variable Differential Transformer (LVDT) -moduuleita eli siirtymäantureita, jotka asennetaan halkaisijaltaan 39 mm reiässä olevaan tankoon mittauskohteessa (kuva 3.1:1). Samaan reikään voidaan asentaa eri syvyyksille enintään kuusi LVDT-moduulia (kuva 3.1:2).

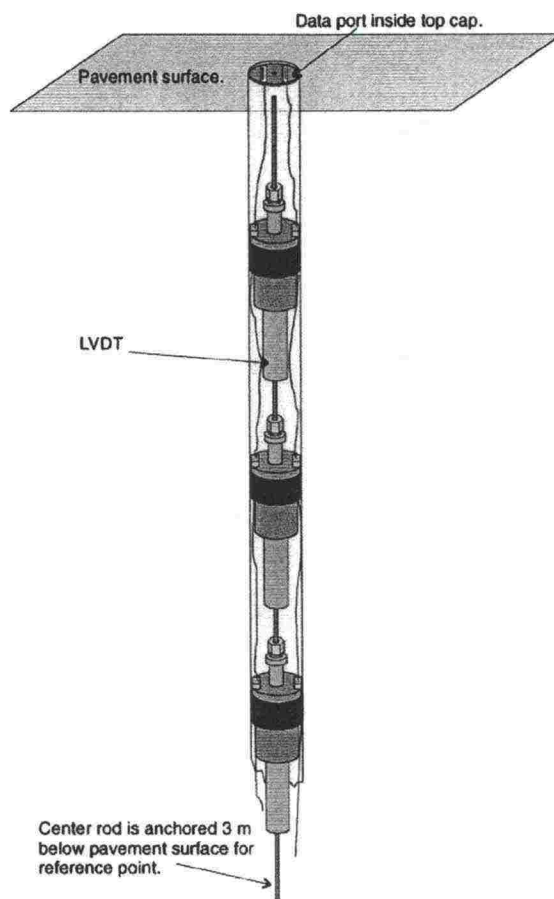


Kuva 3.1:1 Multi-depth deflektometri.



Kuva 3.1:2 Esimerkki LVDT-moduulien asentamisesta tien päällysrakenteeseen ja sen alla olevaan pohjamaahan.

Moduulit ankkuroidaan reiän reunoihin pienten reiän seinää vasten pakotettujen teräs-pallojen avulla. Vertailutanko on ankkuroitu pohjamaahan tiiviiseen maakerrokseen. LVDT-moduuli mittaa rakenteen siirtymää suhteessa ankkurointitankoon, kun kuorma liikkuu MDD:n yli. Reiän pää on suljettu korkilla, joka sisältää liittimen tiedonkeruu-järjestelmän (DAS). LVDT-moduuli ja ankkurointitanko on havainnollistettu kuvassa 3.1:3.



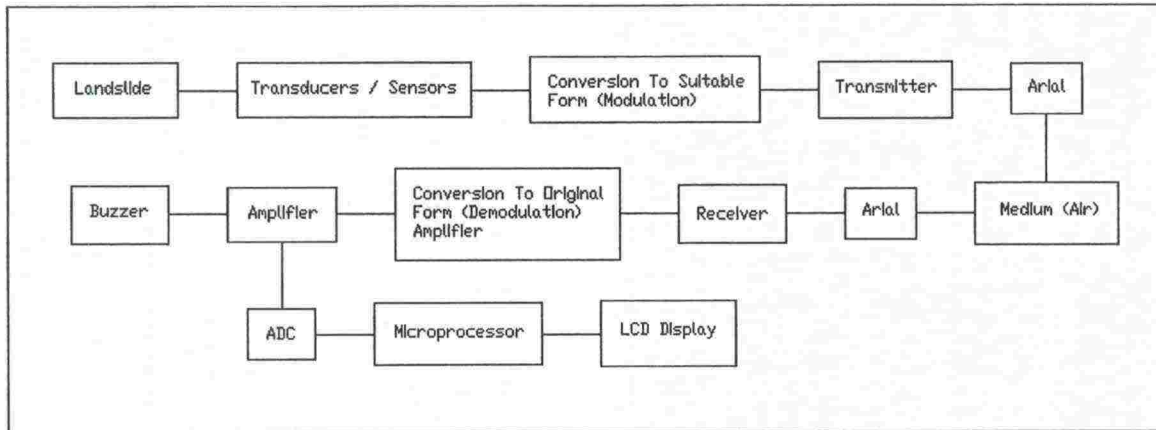
Kuva 3.1:3 LVDT-moduuli ja ankkurointitanko.

MDD on asennettava päällysrakenteeseen ennen kuin mittaukset voidaan aloittaa. Asennusprosessi vaatii periaatteessa pystysuuntaisen reiän poraamista päällysrakenteen läpi tiiviiseen pohjamaakerrokseen asti, reiän vuoraamisen, liitäntäkorkin asennuksen pintaan ja useiden MDD-moduulien asentamisen vaadittuihin syvyyksiin. Prosessi kestää tavallisesti kahdesta kolmeen päivään. MDD:n kalibrointi tehdään asennuksen jälkeen. (<http://www.dynatest.com>)

MDD voitaisiin periaatteessa asentaa ratarakenteeseen samalla tavoin kuin edellä on tie-rakenteen osalta kuvattu. Penkereen mahdolliset liikkeet tiiviiseen pohjamaakerrokseen tukeutuvaan ankkurointitankoon verrattuna voitaisiin tällöin havaita.

Mikroprosessoriohjattu maanvyöryjen varoitusjärjestelmä

Tämä maanvyöryjen varoitusjärjestelmä (kuva 3.1:4) on kehitetty Ngee Polytechnicissä Singaporessa. Projektin päämääränä oli rakentaa edullisia radiolähettämiä, jotka voidaan asettaa maanvyöryille alttiiden maanteiden varrelle.



Kuva 3.1:4 Lohkokaavio maanvyöryjen varoitusjärjestelmästä.

Järjestelmä koostuu yksinkertaisista antureista, jotka asennetaan maanvyöryalueille havaitsemaan maaperän liikkeitä. Maaperän liikkeiden aiheuttamat signaalit lähetetään radioaaltojen avulla ja kerätään analysoitaviksi keskusasemaan.

Varoitusjärjestelmä rakennetaan havaitsemaan maaperän liikkeiden ja värinän määrä ennen maanvyörymän tapahtumista. Ennakkovaroitusjärjestelmä koostuu antureista, vahvistimista, modulaattorista, lähettimestä, vastaanottimesta, analogia-digitaalimuuntimesta, näytöstä ja mikroprosessorista.

Ennen maanvyöryä tapahtuvien liikkeiden havainnointiin käytetään kolmen tyyppisiä antureita. Näitä tyyppisiä ovat muodonmuutosliuskat, kuormitusanturit ja värinäanturit.

- Muodonmuutosliuskoja käytetään, koska ne ovat resistanssimuutosherkkiä. Niitä käytetään yleisesti staattisessa muodonmuutosmittauksessa. Kun jännitys kohdistetaan muodonmuutosliuskaan, resistanssi muuttuu ja syntyy elektroninen signaali, joka digitoidaan ja lähetetään eteenpäin. Suurin hyöty muodonmuutosliuskoista on, että ne ovat epäherkkiä lämpötilamuutoksille.
- Järjestelmässä käytettyjen kuormitusanturien tarkoitus on samantapainen kuin muodonmuutosliuskojen. Sellin pintaan kohdistettu voima aiheuttaa taipuman, jota mitataan neljällä muodonmuutosliuskalla. Sellin ulostulo ei riipu pisteestä, jonka läpi kuorma kohdistuu.
- Värinäantureita käytetään värinän valvomiseen. Värinäantureiden käyttö rata-ympäristössä ei liene mahdollista junaliikenteestä aiheutuvan värinän vuoksi.

Lähetin koostuu ohjelmoitavasta kooderista, modulaattorista ja tehovahvistimesta. Edellä mainittujen anturien antosignaalin taso on pieni. Tämän vuoksi käytetään erikoisvahvistimia vastaanottamaan pieniä differentiaalisignaaleja. Erikoisanturista tulevat vahvistetut signaalit moduloidaan käyttämällä digitaalista modulointia nimeltään Frequency Shift Keying (FSK). Moduloidut signaalit lähetetään tämän jälkeen keskusasemaan, missä ne demoduloidaan.

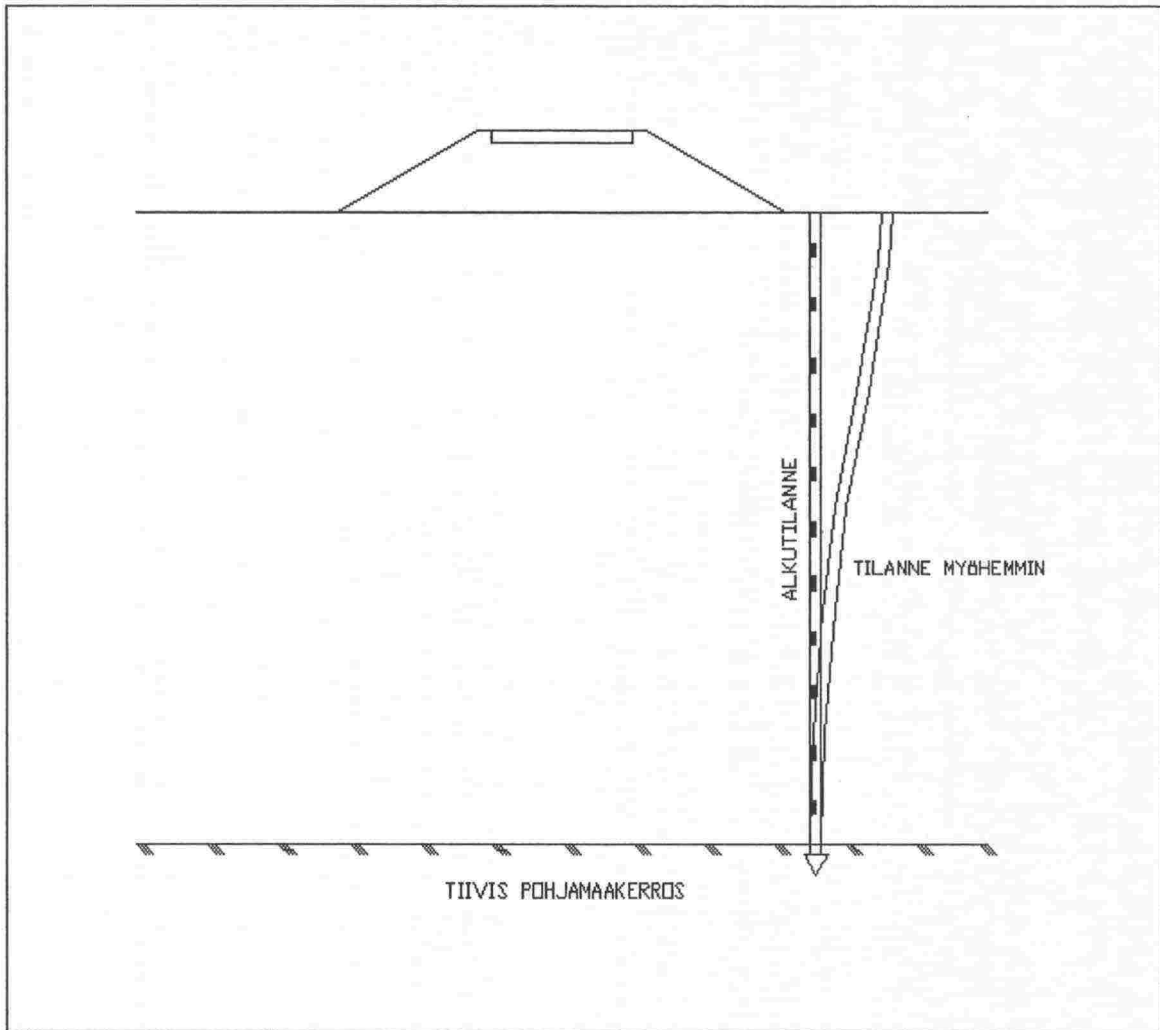
Vastaanotin koostuu kaksoisbalansoidusta sekoittimesta, suurvahvistus- ja välitaajuusvahvistimesta ja ohjelmoitavasta dekooderista. Koska vastaanotin on herkkä, se voidaan helposti ylikuormittaa suurilla signaaleilla. Rajoitinta käytetään pitämään lähettimen signaali sallitussa tasossa. Signaalin digitalisoinnin jälkeen 8051-proessori lukee digitaaliset signaalit analogia-digitaali-muuntimen (ADC) ulostulosta. Prosessoinnin aikana maanliikesignaalit voidaan tunnistaa ja varoitukset lähetetään kidenäyttöön (LCD). Järjestelmä voidaan muokata lähettämään signaalit henkilöhakulaitteen avulla kunnossapitohenkilökunnalle.

3.1.2 Inklinometri

Inklinometrilaitteistoa voidaan käyttää maarakentamisessa muun muassa seuraavissa töissä (<http://www.gage-technique.demon.co.uk>):

- Luiskien ja maanvyöryjen monitorointi, jolla havaitaan liikevyöhykkeet ja määritetään, onko liike vakiota, kiihtyvää tai vaikuttavatko korjaavat toimenpiteet toivotulla tavalla.
- Tuki- ja ponttiseinien monitorointi, jolla tarkistetaan, että taipumat ovat suunnittelurajojen sisällä ja että tuet ja ankkurit toimivat kuten pitää, ja että viereiset rakennukset eivät kärsi maan liikkeistä.
- Patojen, patojen tukirakenteiden ja ylävirtaluiskien liikkeen monitorointi vesialtaan patoamisen aikana ja sen jälkeen.
- Tunneloinnin vaikutusten monitorointi, jotta voitaisiin varmistaa, että viereiset rakenteet eivät vaurioidu maan liikkeistä.
- Painumaprofiilien tuottaminen penkereille, perustuksille ja muille rakenteille.
- Padon betonin puoleisen osan muodonmuutosten monitorointi.

Inklinometrimittausten käyttöperiaate ratapenkereen alla olevassa maassa näkyy kuvassa 3.1:5.

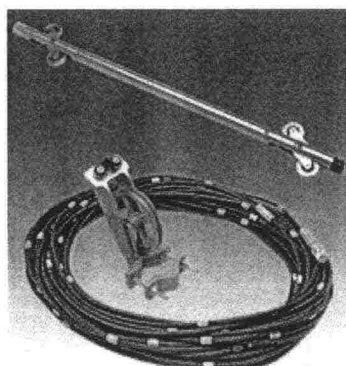


Kuva 3.1:5 Inklinometrimittausten käyttöperiaate ratapenkereen alla olevassa maassa.

Inklinometrilaitteisto koostuu seuraavista osista:

- Inklinometriputki asennetaan kairausreikään, joka kulkee oletettujen liikevyöhykkeiden lävitse. Inklinometriputki voidaan myös upottaa täytymään, haudata ojaan, valaa betoniin tai liittää rakenteeseen. Tärkeitä ominaisuuksia ovat mm. putken halkaisija, liitäntämekanismi ja putken seinämävahvuus. Useimmat yritykset käyttävät nykyisin pienihalkaisijaista putkea (38/48 mm, pituus 1500), koska sen asentaminen onnistuu hyvin 90 mm porauskalustolla ja asennus on siten paljon helpompaa ja nopeampaa kuin isolla kalustolla. Vaikka 48/38 mm putki on pieni, se riittää Suomen olosuhteissa. Kokemusten mukaan siirtymät eli taipumat eivät ole yleensä niin suuria, etteikö anturi sopisi ja kulkisi aina hyvin putkessa.
- Siirrettävää sondia tai "fixed string of in-place" -antureita käytetään putken muodon mittaamiseen. Kannettava inklinometrisondi (kuva 3.1:6) tuottaa koko profiilin ja on myös taloudellinen, koska se voidaan kantaa kohteesta toiseen. In-place-inklinometrianturit ovat ihanteellisia tietojenkeruuseen ja reaaliaikaiseen kaukovalvontaan, jota käytetään kriittisissä sovellutuksissa, kuten rakentamisen valvonnassa ja

turvallisuuden monitoroinnissa. In-place-järjestelmien hinnat ovat korkeammat, koska antureita ei voida siirtää paikasta toiseen.



Kuva 3.1:6 Siirrettävä inklinometrisondi.

Spiraali-anturi (kuva 3.1:7) tuottaa lukemia, joita voidaan käyttää spiraalimaisesta putkesta saadun inklinometridatan korjaamiseen. Spiraalimittauksia suositellaan, jos asennus on hyvin syvä tai inklinometrin lukemat näyttävät liikettä epätodennäköisissä suunnissa tai asennuksen aikana on odotettavissa vaikeuksia. Spiraali-anturi, joka on kiinnitetty inklinometrin hallintakaapeliin ja mittariin, lasketaan putken pohjalle. Spiraalilukemat tallennetaan 1,5 metrin välein samalla, kun anturia nostetaan putken yläosaan. Täydessä spiraalitutkimuksessa anturi lasketaan putkeen neljä kertaa ja sen suuntaa käännetään 90 astetta jokaisella kerralla.



Kuva 3.1:7 Spiraalimaisten putkien yhteydessä käytettävä spiraali-anturi.

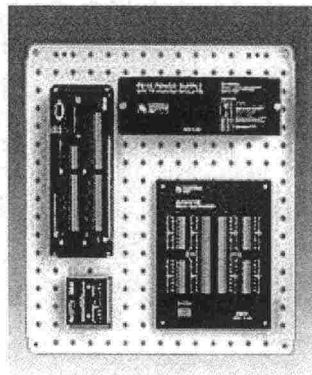
Olemassa on myös digitaalisia kallistusantureita, joita käyttämällä lienee mahdollista rakentaa jatkuvatoimiseen mittaamiseen soveltuva inklinometrilaitteisto. Digitaalisen laitteiston käytön edut rataympäristössä ovat muun muassa jatkuvan seurannan mahdollisuus ja liikkuvien osien puuttuminen.

- Siirrettävää mittaria tai tietojenkeruulaitetta käytetään mittausten tallentamiseen. Siirrettävää mittaria (kuva 3.1:8) käytetään siirrettävän sondin yhteydessä. Uudenaikaiset mittarit tallentavat lukemat elektroniseen muistiin, mikä poistaa kynä-, paperi- ja puhtaaksikirjoitusvirheet. Laite lähettää datan tietokoneelle käsittelyä varten.



Kuva 3.1:8 Siirrettävän sondin yhteydessä käytettävä siirrettävä mittari.

Tietojenkeruulaitetta (kuva 3.1:9) käytetään in-place-sensoreiden yhteydessä. Se monitoroi jatkuvasti ja hälyttää, kun havaitsee muutoksen tai muutoksen nopeuden, joka ylittää asetusarvon.

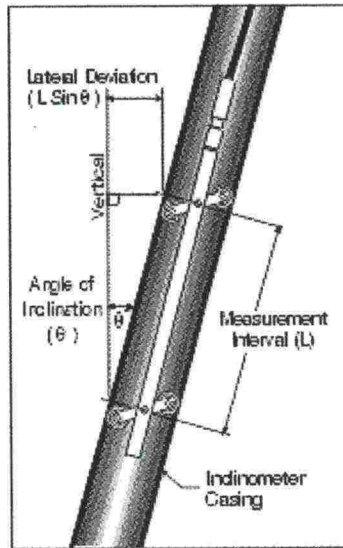


Kuva 3.1:9 In-place tietojenkeruulaite.

- Datan tiivistämiseen ja visualisointiin on olemassa tietokoneohjelmia. Inklinometri tuottaa enemmän dataa kuin muut tavanomaiset anturit. Yksi mittaus voi tuottaa useita satoja datapisteitä. Slope Indicator's DigiPro -ohjelmisto Windows 95/98/NT/2000:lle on esimerkki inklinometridatan käsittelyyn ja tulostamiseen suunnitellusta ohjelmistosta, joka nopeuttaa mittaustiedon käsittelyä. DigiPro toimii projektitietokantojen kanssa, jotka on luotu DMM for Windows -ohjelmalla.

Inklinometrimittauksen suoritus tapa

Tavallisimmin inklinometriputki asennetaan pystysuoraan kairausreikään, joka kulkee oletettujen liikevyöhykkeiden lävitse. Inklinometriputkea, ohjauskaapelia ja mittarilukemaa käytetään putken siirtymien tutkimiseen. Tutkimuksen aikana sondi vedetään ylöspäin putken pohjalta putken yläosaan. Sondi pysäytetään puolen metrin välein kallistumamittauksia varten. Ensimmäinen tutkimus tuottaa putken alkuprofiilin. Seuraavat tutkimukset paljastavat putken profiilin muutokset, jos liikettä on tapahtunut. Sondin kaltevuus mitataan kahden voimatasapainoisen servokiihtyvyyssmittarin avulla. Kaltevuusmittaukset muutetaan sivupoikkeamiksi (kuva 3.1:10). Sivupoikkeaman muutokset lasketaan vertaamalla tämänhetkistä sivupoikkeamaa alkuperäiseen sivupoikkeamaan. Sivupoikkeaman muutokset osoittavat, että liikettä on tapahtunut.

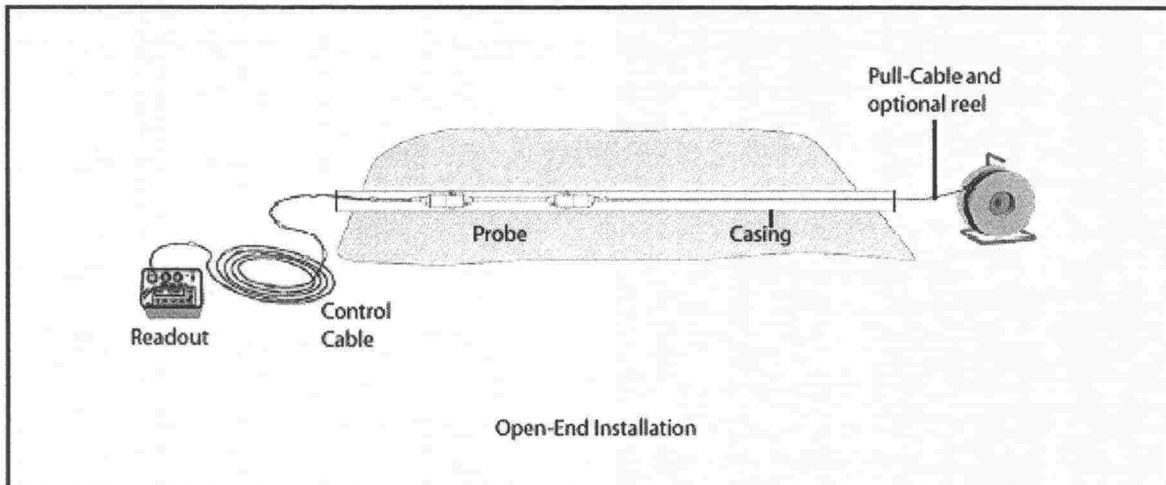


Kuva 3.1:10 Periaate kaltevuuden muuttamisesta sivupoikkeamiksi.

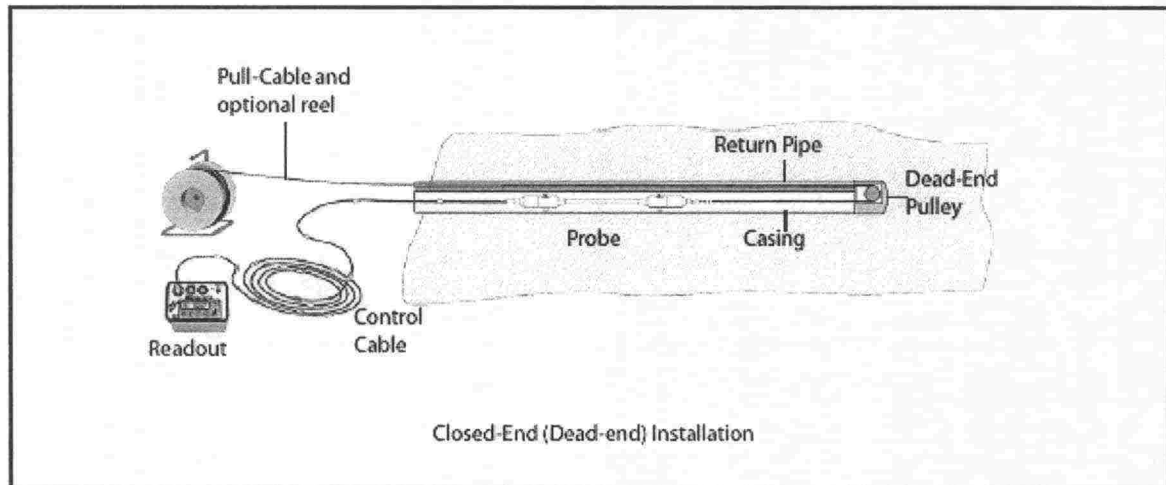
Vaakasuora inklinometrisondi

Vaakasuoria inklinometrejä käytetään maanpinnan painumien tai kohoumien tarkkojen profiilien mittaamiseen. Tyypillinen sovellus on painumien tai kohoamien monitorointi varastosäiliöiden, penkereiden, patojen ja kaatopaikkojen alla.

Vaakasuora inklinometri koostuu putkesta, vaakasuorasta sondista, ohjaus- ja veto-kaapelista sekä näyttöyksiköstä. Inklinometriputki asennetaan vaakasuoraan ojaan tai porausreikään (kuva 3.1:11). Kun putken pää ei ole helposti saatavilla, putken yhteydessä asennetaan pääteväkipyörä ja paluukaapeliputki (kuva 3.1:12). Sondia, ohjauskaapelia, vetokaapelia ja näyttöyksikköä käytetään putken profiilin muodon mittaamiseen. Tutkimus tehdään vetämällä sondi putken päästä toiseen päähän. Sondi pysäytetään puolen metrin välein kaltevuusmittauksia varten. Ensimmäinen tutkimus tuottaa putken alkuprofiilin. Seuraavat tutkimukset paljastavat putken profiilin muutokset, jos liikettä on tapahtunut. Vaakasuoran inklinometrisondin yhteydessä käytetään voimatasapainoista servokiihtyvyyssmittaria, joka mittaa kaltevuuden horisontaalin suhteen siinä tasossa, missä sijaitsevat mittasondin pyörät. Kaltevuuden muutos osoittaa, että liikettä on tapahtunut. Liikkeen määrä lasketaan nykyisen kaltevuuden ja alkuperäisen kaltevuuden erotuksen avulla ja muuttamalla tulos pysty-suoraksi etäisyydeksi.

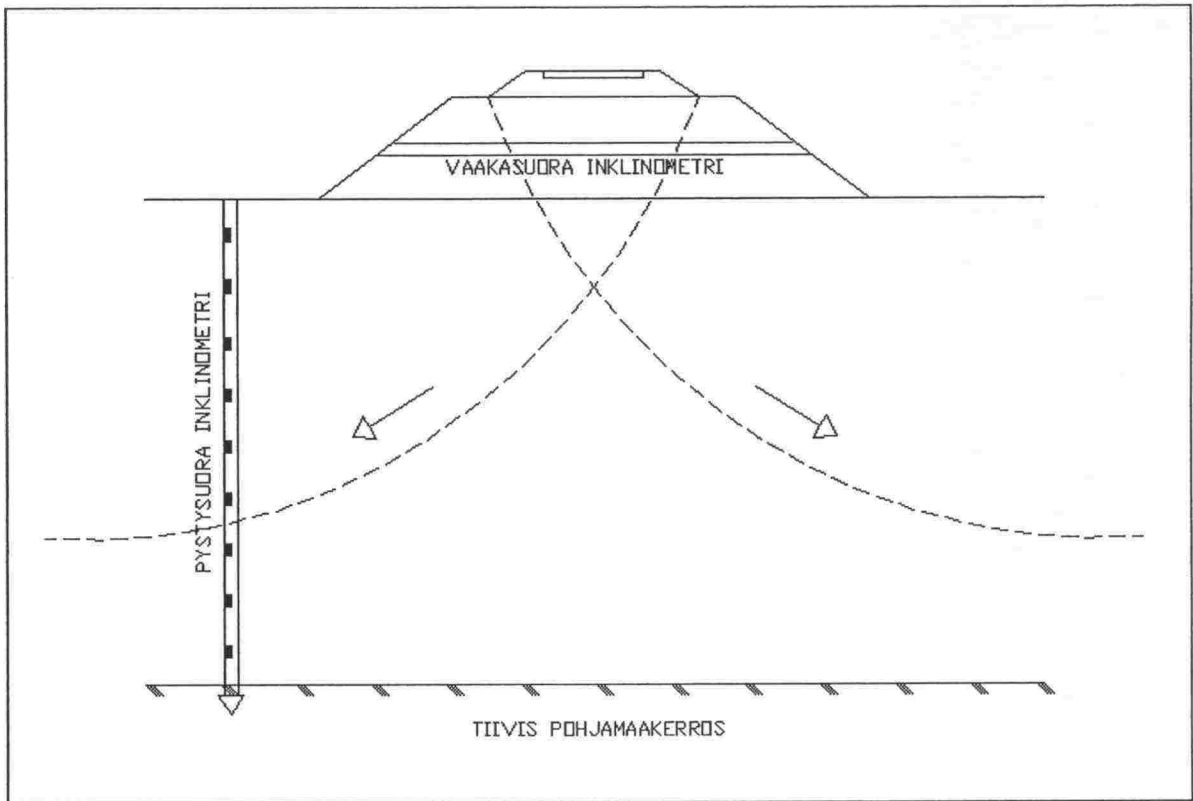


Kuva 3.1:11 Tavallinen vaakasuoran inklinometriputken asetustapa.



Kuva 3.1:12 Vaakasuoran inklinometriputken asetus, kun putken pää ei ole helposti saatavilla.

Näin asennetulla jatkuvatoimisella mittarilla olisi myös mahdollista monitoroida rata-penkereen liikkeitä (kuva 3.1:13).



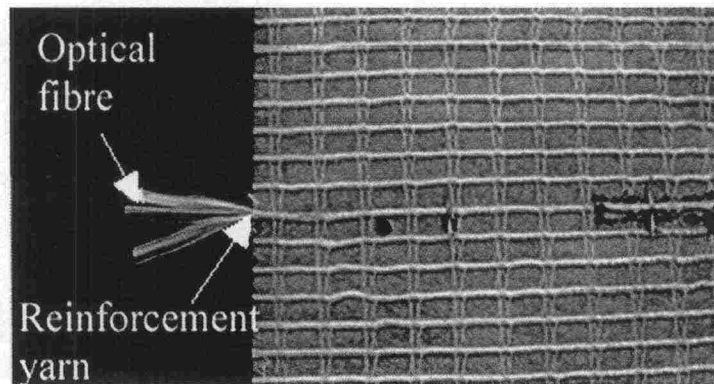
Kuva 3.1:13 Vaakainklinometrimittausten käyttöperiaate ratapenkereessä ja vertailu pystysuoraan inklinometriin.

Tässä olisi se hyvä puoli pystysuuntaiseen inklinometriin verrattuna, että mahdolliset alkavaa penkereen sortumaa ennakoivat siirtymät näkyisivät riippumatta siitä, kummalle puolelle penger alkaa sortua. Sen sijaan pystysuora inklinometri ei välttämättä havaitse heti toiselle puolelle lähdössä olevaa sortumaa. Haittapuolena vaakasuuntaan tehtävässä inklinometrimittauksessa on toisaalta kuitenkin se, että mittaustuloksessa näkyvät myös mahdolliset penkereen epätasaisesta konsolidaatiopainumasta aiheutuvat penkereen poikkisuuntaiset painumaerot.

3.1.3 Valokuituun perustuvat mittaukset

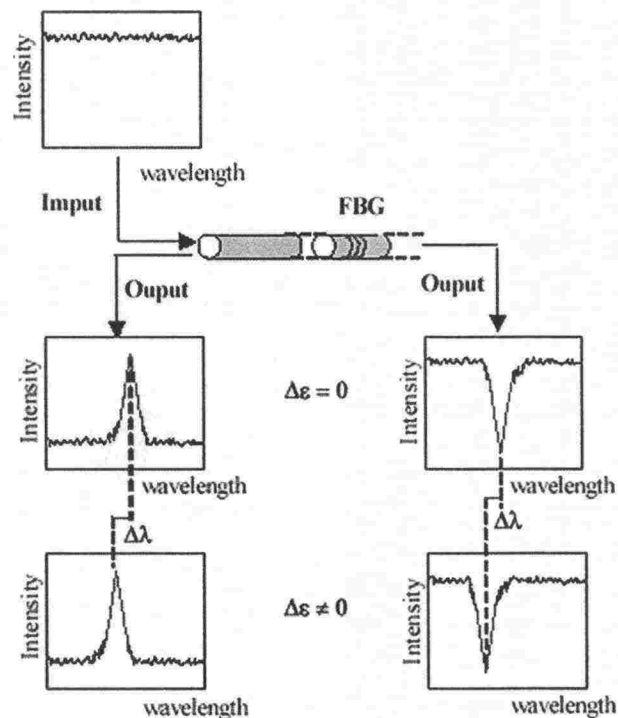
Geodetect System

Geodetect Systemin on kehittänyt Bidim Geosynthetics (Ranska) ja IDFOS (Belgia). Se on havainnointijärjestelmä, joka varoittaa sortumisen riskistä erityisesti rautateillä, jotka kulkevat karstisten alueiden läpi. Karstinen alue on alue, jossa maisemaan on piirtynyt jälkiä maanalaisista veden kulkeutumisreiteistä ja maanpinnalla ei välttämättä ole vettä lainkaan; tämän aiheuttaa yleensä lievästi hapan sade kalkkikiven ja dolomiitin alueilla. Yksi tutkimuksen tulos on vahvistava geotekstiili, johon on integroitu valokuituja (kuva 3.1:14). Valmistajan mukaan tällä geotekstiilillä voidaan tehdä tarkka mittaustjärjestelmä, joka vahvistaa rakennetta ja samanaikaisesti seuraa maaperän siirtymiä valokuitujen venymiä käyttäen. (Bidim 2003)



Kuva 3.1:14 Geotekstiili ja valokuidut.

Valokuitujen käyttö monitorointiin lisääntyi 1980-luvulla. Useita monitorointilaitteita kehitettiin. Geodetect System käyttää Fibre Bragg Grating (FBG) -tekniikkaa. FBG:t ovat taipuvia elementtejä, jotka on liitetty yksimuotovalokuidun valoherkkään ytimeen. Tämä hila (grating) heijastaa spektriinkin hilavälin perusteella. Tämän takia kuidun pituuden muutokset, jotka veto- tai puristusjännitys aiheuttaa, muuttavat hilaväliä ja takaisin heijastuvan valon aallonpituutta. Määrällisiä muodonmuutosmittauksia voidaan tehdä mittaamalla heijastuneen spektriinkin keskiaallonpituus (kuva 3.1:15).



Kuva 3.1:15 FBG:n periaate.

Tarkoituksena on, että käyttämällä eri aallonpituuksia eri FBG-sensoreiden signaalit voidaan erotella. Näiden niin kutsuttujen peilien aallonpituudet ja aallonpituuden muutokset voidaan mitata valokuituyksiköllä, joka sallii niiden demultipleksoinnin aallonpituuden alueella. Näin eri paikoissa olevat sensorit voidaan tunnistaa ja yksilöidä. Koska sensoreilla on kullakin oma tyypillinen aallonpituutensa, ne voidaan

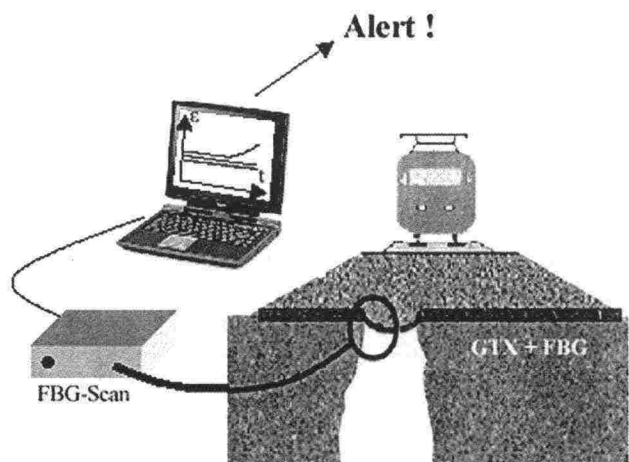
liittää sarjaan yhteen valokuituun. Myös tähtimäinen asetelma voidaan tehdä. Tällä tavalla (käyttämällä optista katkaisijaa) useita satoja sensoreita voidaan mitata suhteellisen pienellä ja edullisella mittalaitteyksiköllä.

Valokuidut asennetaan geotekstiiliin sisään samalla, kun geotekstiiliin laitetaan vahvistelankoja valmistusprosessin aikana. Koska varoitussysteemi on laitettu suoraan geotekstiiliin, asennusongelmia, joita tavataan usein muilla menetelmillä, ei synny.

Jotta tarkkailulaitteen vedenpitävyys voitaisiin taata, joustava vaippa suojaa valokuituja. Tämän valokuitujen vaipan ansiosta "Geodetect" järjestelmä on:

- turvassa salaman iskuilta
- syöpymisenkestävä
- sähkömagneettisesti häiriötön
- säteilyn kestävä
- räjähdysturvallinen (ei kipinäriskiä).

Mittausjärjestelmä koostuu tietojenkeruuyksiköstä (Geodetect FBG-Scan) ja tietokoneesta, joka mahdollistaa valokuitujen spektritulosten arvioinnin. Geodetect FBG-Scan on saatavissa myös käsiversiona, joka voidaan yhdistää kannettavaan tietokoneeseen, mikä mahdollistaa nopeat maarakenteista tehtävät mittaukset. Kuvassa 3.1:16 on esitetty Geodetect-järjestelmän periaate.



Kuva 3.1:16 Geodetect-järjestelmän periaate.

Järjestelmän oikeasta käytöstä ei ole vielä kokemusta, vaikkakin yksi asennus on suunniteltu Ranskassa lokakuussa 2004. Joka tapauksessa valokuitujen integrointitestit ovat varmentaneet prosessin käyttökelpoisuuden. Muodonmuutostestit ovat osoittaneet, että valokuidut voivat kestää jopa geotekstiiliin kohdistuvan 5–6 % muodonmuutoksen. Leikkauskoelaitteistoa käyttäen tehdyt vauriotestit ovat varmentaneet, että järjestelmä toimii jopa suuren jännityksen alaisena. Varoitussysteemiä on menestyksellisesti testattu asennuksen aikana vaativissa olosuhteissa, joissa on kokoonpuristumista ja kemiallisesti aggressiivista materiaalia. Varoitussysteemi on myös suoritunut laboratorikalvokokeissa ja sortumissimulaatioissa. Tämän vuoksi tämä uusi laite ja "älykäs" geotekstiili ovat valmistajan arvion mukaan toimintavalmiita maaperän siirtymien mittaamiseen. Tulevaisuuden tutkimuksia harkitaan. Erityisesti harkinnassa

ovat jatkotutkimukset paikallisen muodonmuutoksen mittauksen tarkentamiseksi sekä käyttökokemusten hankkimiseksi erityyppisistä sovellutuskohteista.

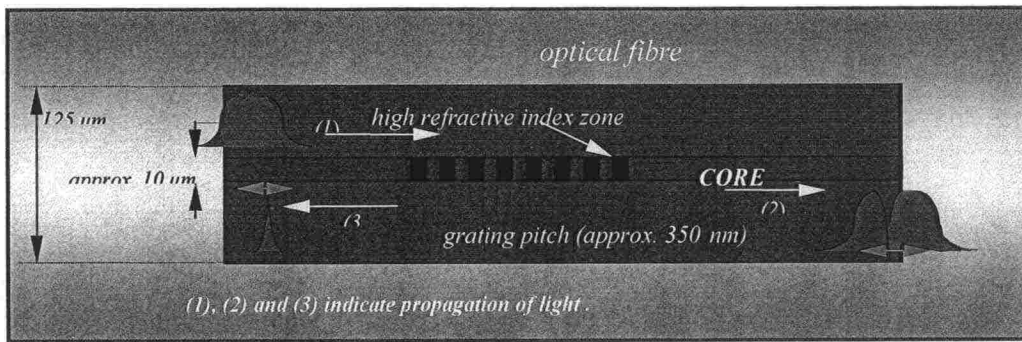
Asioita, jotka liittyvät asennukseen olemassa oleville ratapenkereille ja jotka pitää muistaa:

- Sepelikerroksen kanssa kosketuksissa olevan geotekstiilin kestävyys on yleensä huono, paitsi jos käytetään erityistä tuotetta, joka pystyy kestämaan kulutusta (esim. hartsilla vahvistettu geotekstiili). Tämä on voimassa, käytetään valokuitua tai ei, koska suora kontakti sepelikerroksen kanssa on todennäköisesti liian voimakas.
- Liikenteellä on suuri vaikutus. Havainnointilaite on erittäin tarkka ja sillä voidaan mitata hyvin pieniä muodonmuutoksia (< 0,01 %). Jos Geodetect on asetettu liian ylös rakenteessa, mittaukset mittaavat enemmän siirtymiä, jotka johtuvat liikenteestä, kuin siirtymiä, jotka johtuvat pohjamaan plastisista muodonmuutoksista. Tämän vuoksi on suositeltavaa, että geotekstiili asennetaan penkereen sisään ainakin 50 cm sepelikerroksesta. (Nancey 2004, sähköpostiyhteys)
- Mittauksen tavoitteet pitää määrittellä erittäin tarkasti (mitä halutaan nähdä, ongelman koko, tapaus, tutkimuksen tyyppi) järjestelmän optimoimiseksi (kuitujen määrä, sensoreiden välit, tarkkailujärjestelmä), koska optimoimisella on suuri vaikutus hintaan.

FBG-tekniikan käyttö betonirakenteiden monitoroinnissa

Valokuituanturien suurin hyöty tavallisiin seismisiin muodonmuutosantureihin nähden on, että ne vähentävät liitettävyyso ongelmia huomattavasti, koska yksi mittausjohto voi kantaa jopa 15 anturia. Toinen tärkeä hyöty valokuituantureista on, että ne mahdollistavat galvaanisen eristämisen. Se on välttämätöntä moderneille tietokonepohjaisille järjestelmille. Lisäksi niiden herkkyys on parempi kuin tavallisilla muodonmuutosantureilla, joiden herkkyys on luokkaa 5 mikrometriä, kun taas Bragg gratings -tekniikkaan perustuvien valokuituanturien herkkyys on parempi kuin 0.2 mikrometriä 20 mm:lle mittauskuitua.

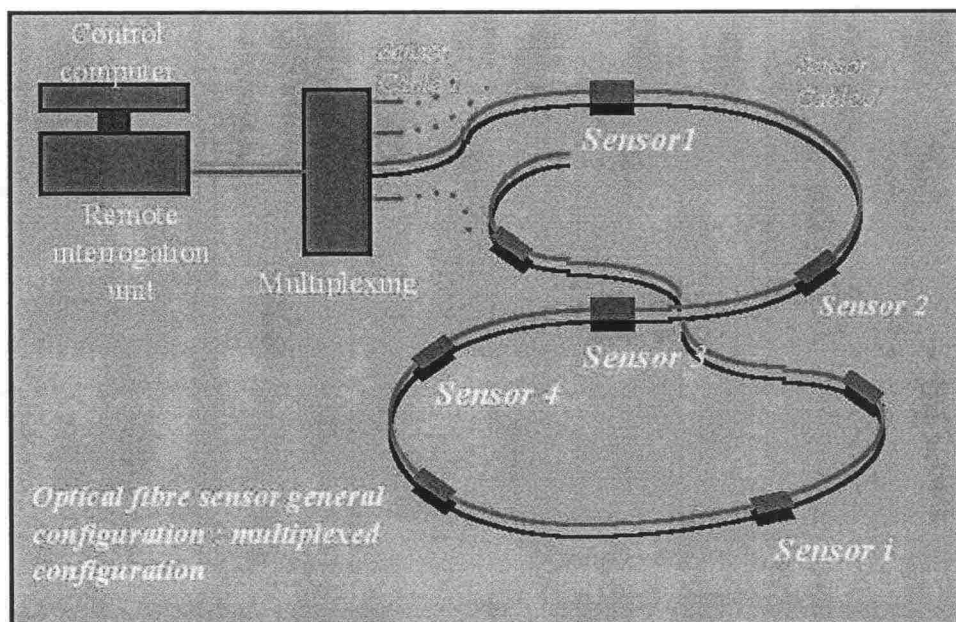
Kuten mainittiin sivulla 86, Bragg gratings -anturit ovat kirjosuodattimia, jotka on tehty valokuidun ytimen sisälle ja koostuvat periodisista valontaitekertoimen minimien ja maksimien jonoista kuidun ydintä pitkin. Tämä tuottaa resonanssihilan. Kun kuitua lämmitetään tai kuidussa tapahtuu muodonmuutoksia, periodisuus muuttuu ja siksi suodatettu aallonpituus siirtyy spektrissä. Tätä spektrisiirtymää käytetään mittaamaan lämpötilaa tai kuormitusta. Toisin sanoen kun kuidun ydintä pitkin kulkeva valo kohtaa Bragg gratingin, tiettyyn aallonpituuteen (Bragg-resonanssiaallonpituus) keskittyvä aallonpituuskapeakaista heijastuu vastakkaiseen suuntaan. Kuidun muodonmuutokset muuntavat Bragg-resonanssiaallonpituutta ja siksi myös kuidun muodonmuutoksia ilmaisevan heijastuneen viivaspektrin paikkaa. Kuva 3.1:17 tuo esiin anturin toimintaperiaatteita.



Kuva 3.1:17 Anturin toimintaperiaatteet.

Tämä anturiteknologia on paras, kun muodonmuutos/jännitys tai lämpötila pitää mitata edeltä määrätyissä paikoissa. Tämän saavuttamiseksi on käytetty kaupallisesti saatavilla olevia Bragg gratings -järjestelmiä. Muodonmuutoksen havainnointiin anturi voidaan sisällyttää suoraan monitoroitavaan rakenteeseen tai se voidaan asentaa myöhemmin rakenteen pintaan. Teknologian ainutlaatuisuus on hiilikomposiittiraaka-aineen käyttö valokuituanturien pakkaamiseen. Tämän edut ovat:

- Hiilikomposiiteilla on hyvä vastustuskyky aggressiivisissa kemiallisissa ympäristöissä, esimerkiksi betonin alkaliympäristössä. Lisäksi näillä materiaaleilla on hyvä mekaaninen käyttäytyminen.
- Hiiliyhdisteet ovat yksinkertaisimmassa muodossa litteitä, joten niitä voidaan asentaa helposti maa- ja vesirakenteiden pintaan. Lisäksi niillä on hyvin pieni tilavuus, joten ne voidaan myös upottaa betoniin ilman, että häiritään rakennetta. Useita pienikokoisia valokuituantureita (tyypillisesti 15), kuten on esitetty skemaattisesti kuvassa 3.1:10, voidaan multipleksoida samaan valokuitukaapeliin, kun taas valokuitukytkimet sallivat useiden anturilinjojen (tyypillisesti 4–16) multipleksoinnin. Täten antureiden määrä voidaan multipleksoida, jotta voitaisiin määrittää monimutkaisten rakenteiden muodonmuutos/lämpötila-profiilit, kuten on esitetty kuvassa 3.1:18.



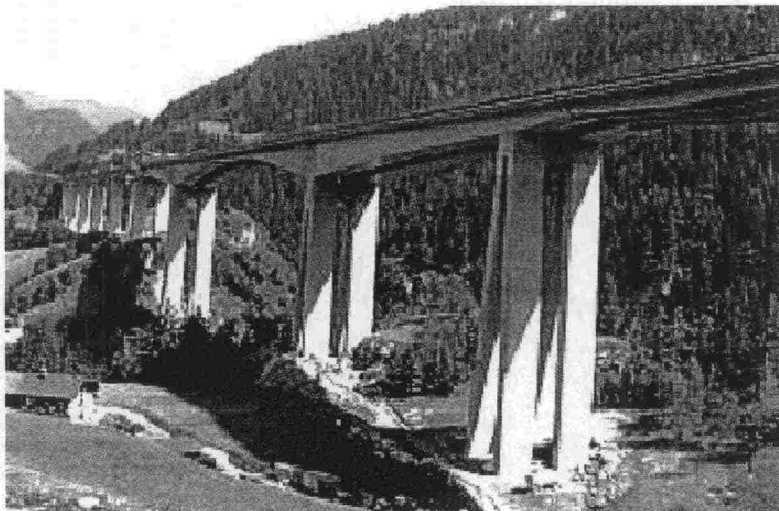
Kuva 3.1:18 Valokuituantureiden multipleksoitu lay-out.

Tämän tekniikan suurin ongelma on se, että ratapenkereen lämpötilamuutokset näkyvät samalla tavoin kuin siirtymät/venymät. Periodisuus muuttuu ja siksi suodatettu aallonpituus siirtyy spektrissä, kun kuidussa tapahtuu muodonmuutoksia ja myös silloin, kun kuitua lämmitetään. Tämä lämpötilamuutosten vaikutus on varsin huono asia tekniikan soveltuvuuden kannalta.

SOFO-anturit

Toisin kuin Fibre Bragg Gratings (FBG:t), jotka antavat paikallisen muodonmuutosmittauksen, SOFO-anturit voivat antaa tarkan ja luotettavan mittauksen kahden minkä tahansa valitun pisteen suhteelliselle siirtymälle. Pisteet ovat 20 cm – 30 m päästä toisistaan. SOFO-anturit koostuvat parista yksimuotokuituja, jotka on asennettu monitoroitavaan rakenteeseen. Toinen kuiduista, jota kutsutaan mittakuiduksi, on mekaanisessa yhteydessä rakenteeseen, kun taas toinen kuiduista, vertailukuitu, on laitettu irrallisena viereiseen putkeen. Kaikki rakenteen muodonmuutokset aiheuttavat näiden kahden kuidun välille pituuseron muutoksen. Jotta näiden kahden kuidun välillä voitaisiin mitata pituuseron muutos, käytetään kahta Michelson-interferometriä. Ensimmäinen interferometri on tehty mitta- ja vertailukuiduista, kun taas toinen on lukemalaitteessa. (<http://www.smartec.ch>)

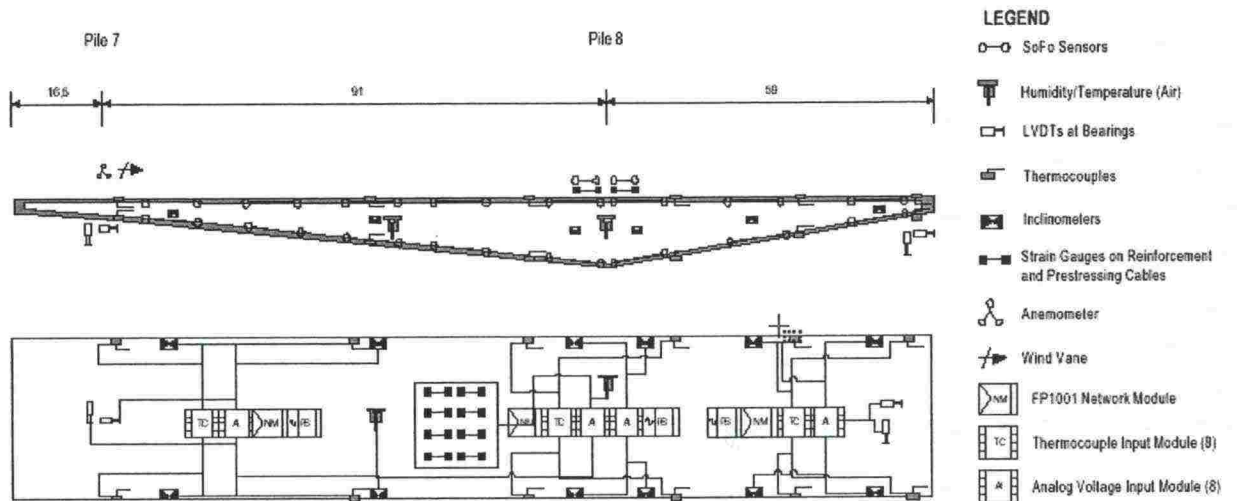
Esimerkki valokuitusensorien käytöstä siltojen ja betonirakenteiden monitorointiin on esitetty Colle d'Isarcon siltaprojektissa Brennerin valtatiellä A22 Italiassa. Valtatien osassa, jonka toimintaa monitoroidaan, on neljä pilaria, joista jokainen tukee epäsymmetristä ulokepalkkia pohjoisen ja etelän suuntaan, kuten voidaan nähdä kuvassa 3.1:19. Osan kokonaispituus on 378 metriä.



Kuva 3.1:19 Colle d'Isarcon silta.

Siltaan on asennettu useita perinteisiä antureita ja valokuituantureita. Koska osa on suuri, tiedonkeruujärjestelmä, joka kykenee keräämään laajalle levitettyjä antureita, on myös asennettu. Osittainen yleiskuva anturityypeistä ja -asennuksista sekä tiedonkeruuverkosta on esitetty kuvassa 3.1:20. Valokuituja käyttävä SOFO-järjestelmä vaatii erillistä signaalinkäsittelyä ja siksi sitä ei voida yhdistää suoraan tiedonkeruu-

järjestelmään. Jokaista kuitua osoitetaan erikseen ja jokainen kuitu on seuraavaksi multiplexoitu lukemalaitteeseen. Tämä lukemalaite on kiinnitetty PC:hen.



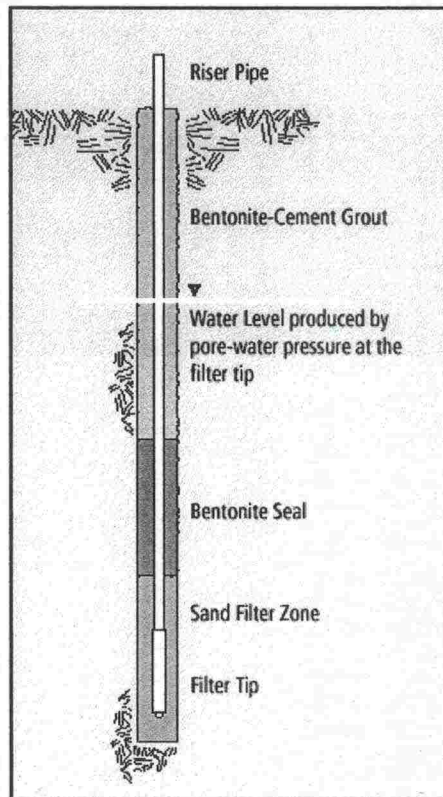
Kuva 3.1:20 Osittainen yleiskuva anturityypeistä ja -asennuksista sekä tiedonkeruuverkosta.

3.2 Huokosvedenpaineen mittaamiseen perustuvat menetelmät

Standpipe-huokospainemittari

Ehkä yleisimmin tunnettu huokospainemittarimittari on Standpipe-huokospainemittari, jota käytetään mm. huokosvedenpaineen monitorointiin, kun tutkitaan luiskien ja penkereiden stabiliteettia. Tämä laite on halvempi ja helpompi käyttää kuin painemuuntimet, mutta ei ole suositettava, kun on tarpeen mitata nopeita huokosvedenpaineen muutoksia. Silloin muuntimet toimivat paremmin. Esimerkki standpipe-huokospainemittarin käytöstä on saatavissa lähteestä Macfarlane et al. (1996).

Standpipe-huokospainemittari, joka on asennettu porausreikään, koostuu suodatinpäästä ja nousuputkesta, johon suodatinpää on kiinnitetty (kuva 3.2:1). Suodatinpää asetetaan hiekkavyöhykkeeseen ja bentoniittia asennetaan hiekan päälle, jotta huokosvedenpaine voitaisiin eristää suodatinpään alueella. Nousuputken ja porausreiän välillä oleva tila täytetään pintaan asti bentoniitti-injektointilaastilla, jotta voitaisiin ehkäistä veden pystysuora kulkeutuminen. Nousuputki päättyy maanpinnan yläpuolelle avokapseliin.



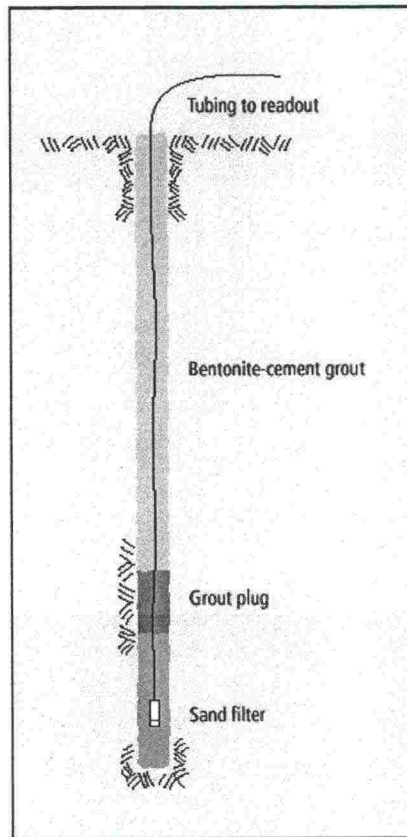
Kuva 3.2:1 Standpipe-huokospainemittarin tyypillinen asennus.

Vedenpinnan korkeudet huokospainemittarissa mitataan vedenkorkeusmittarilla, joka koostuu sondista, mittakaapelista tai -nauhasta ja kaapelikelasta sisäänrakennettuine elektronisine laitteineen. Sondi lasketaan huokospainemittarin sisällä vedenpintaan saakka. Kun sondi osuu vedenpintaan, tämä ilmoitetaan valomerkillä ja kaapelikelaan rakennetulla summerilla. Lukemat saadaan kaapelista tai nauhasta.

Pneumaattinen huokospainemittari

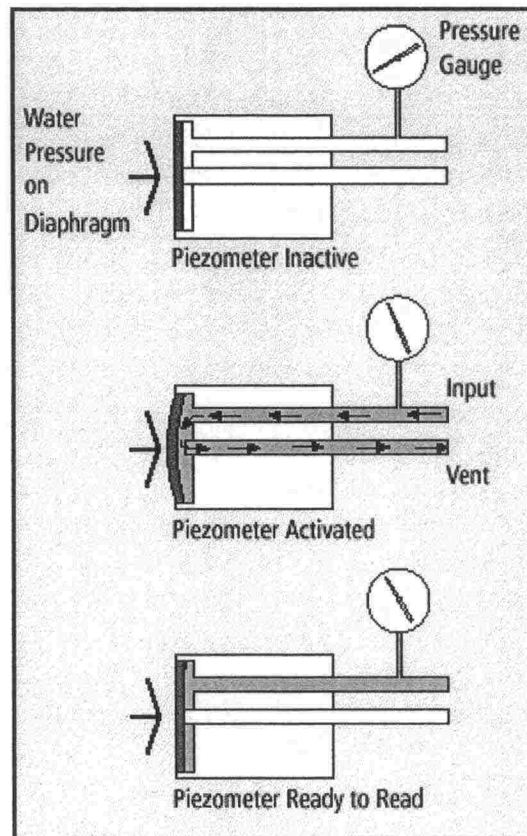
Kuten Standpipe-huokospainemittaria myös pneumaattista huokospainemittaria voidaan käyttää mm. huokosvedenpaineen monitorointiin luiskien stabiliteettitutkimuksia varten. Lisäksi tällä mittarilla on mahdollista tutkia myös maapatojen ja -penkereitten käyttäytymistä.

Tyypillisessä asennuksessa (kuva 3.2:2) huokospainemittari asennetaan tiivistettyyn porausreikään, upotetaan täytemaahan tai sitä riiputetaan pystyputkessa. Pneumaattiset kaksoisputket kulkevat huokospainemittarista maanpinnalla olevaan pääteasemaan. Lukemat saadaan pneumaattisella mittarilla.



Kuva 3.2:2 Pneumaattisen huokospainemittarin tyypillinen asennus.

Huokospainemittari sisältää taipuisan välikalvon. Välikalvon toisella puolella vaikuttaa vedenpaine ja toisella puolella kaasunpaine. Kun lukemaa tarvitaan, pneumaattinen mittari liitetään pääteasemaan tai suoraan putkeen. Paineistettu typpikaasu virtaa mittarista putkeen ja lisää kaasupainetta välikalvolla. Kun kaasunpaine ylittää vedenpaineen, välikalvo pakotetaan pois putken suulta. Tämän johdosta ylimääräkaasu voi virrata pois putken kautta. Kun pinnalla havaitaan kaasun paaluvirtaamaa, kaasun syöttö katkaistaan. Huokospainemittarissa kaasunpaine pienenee, kunnes vedenpaine pakottaa välikalvon alkuperäiseen asemaan. Tämän jälkeen kaasu ei enää pääse pois putken kautta. Tässä tapauksessa kaasunpaine on yhtä suuri kuin vedenpaine ja pneumaattinen mittari näyttää lukeman painemittarissa. Seuraava kuva tuo esiin mittarin toimintaperiaatetta.



Kuva 3.2:3 Pneumaattisen huokospainemittarin toimintaperiaate.

Värähdyslanka-huokospainemittari (Vibrating Wire Piezometer)

Toisin kuin kaksi edellä mainittua huokospainemittaria värähdyslanka-huokospainemittari on sähköinen mittausanturi. Sitä voidaan käyttää mm. maapatojen ja luiskien stabiliteetin tutkimiseen. Tämä laite soveltuu hyvin jatkuvaan monitorointiin. Esimerkki värähdyslankahuokospainemittarin käytöstä on saatavissa lähteestä Comforth ja Mikkeslen (1996).

Huokospainemittari muuttaa vedenpaineen taajuussignaaliksi välikalvon, jännitteisen teräslangan ja sähkömagneettikelan avulla. Huokospainemittari on suunniteltu siten, että välikalvoon kohdistuvan paineen muutos aiheuttaa langan jännityksen muutoksen. Kun sähkömagneettikela virittää langan, lanka värähtelee ominaistaajuudellansa. Langan värähtely kelan läheisyydessä aiheuttaa taajuussignaalin, joka lähetään näyttölaitteeseen. Näyttölaite käsittelee signaalin, käyttää kalibrointikertoimia ja näyttää lukeman halutulla yksiköllä.

Huokospainemittari voidaan asentaa seuraavilla tavoilla:

- Grout-in-menetelmä → Huokospainemittarin suodatinpää lasketaan ennalta määrättyyn syvyyteen porausreiässä. Tämän jälkeen porausreikä täytetään bentoniittisementtilastilla.
- Hiekkasuodatinmenetelmä → Porausreikä huuhdellaan vedellä tai biologisesti hajoavalla porauslietteellä. Hiekkasuodatin asennetaan tietyllä syvyydellä olevan huokospainemittarin ympärille. Bentoniittitulppa muodostuu hiekkasuodattimen

päähän. Tämän jälkeen jäljellä oleva osa porausreikää täytetään bentoniitti-sementtilastilla.

- Push-in → Huokospainemittari työnnetään pehmeään koheesiomaahan haluttuun mittaussyvyyteen asti. Huokospainemittaria tulisi monitoroida, jotta voitaisiin taata, että mittariin ei synny ylipainetta työntöprosessin aikana. Lopuksi porausreikä täytetään bentoniitti-sementtilastilla.
- Embankments → Huokospainemittari upotetaan hiekkaan ja peitetään käsin tiivistetyllä täytemaalla. Signaalikaapeleita reititetään ojien kautta ja peitetään tiivistetyllä täytemaalla. Bentoniittitiivistelevyjä asennetaan sopiviin paikkoihin. Lukemat ovat saatavissa, kun ympärillä oleva maa tulee vedellä kyllästetyksi.

Huokospaineanturit

Huokospainemittarit eli pietsometrit eivät ole ainoita saatavissa olevia laitteita. Huokospaineen mittaukseen on mahdollista käyttää myös sähköisiä mittaustureita. Mittausanturit ovat yleensä kytkettynä tiedonkeruulaitteeseen, joka vuorostaan on kytkettynä kannettavaan tietokoneeseen. Tarvittava virta voidaan saada aggregaatista. Tämä tekniikka soveltuu hyvin rataympäristöön ja on jo käytetty Suomessa ratapenkereitten stabiliteetin tutkimiseen ainakin Tiina Mäkisen (2003) diplomityön yhteydessä.

Huokospainekärjet asennetaan mittausten ajaksi pysyvästi maahan. Huokospainekärkien sisällä on kalvo. Mittausjärjestelmässä kalvon taipuma mitataan kalvoon kiinnitetyillä venymäliuskoilla. Jokainen anturi pitää kalibroida ja jokaiselle anturille pitää määrittää sen ns. nollakohta. Vähentämällä antureiden näyttämästä lukemasta nollakohta saadaan todellinen huokospaineen lisäystä vastaava venymän muutos mittaussyvyydellä. Kertomalla venymän muutos kalibrointikertoimella, saadaan todellinen huokosvedenpaine kPa:eina. Koska anturit mittaavat myös vallitsevan ilmanpaineen, tulee huokosvedenpaineesta vähentää vielä anturien kalibrointipäivän ja mittauspäivän ilmanpaineiden välinen erotus. (Mäkinen 2003)

BAT-huokospainemittari

Viimeinen tässä yhteydessä esitettävä mittausture on kehitetty Ruotsissa ja on osa BAT Geosystems AB:n tuottamaa pohjaveden monitorointijärjestelmää.

Myös tätä mittaria käytetään huokosvedenpaineen mittaamiseen. Mittarin kaksi tärkeintä komponenttia ovat anturi ja suodatinpää:

- BAT-anturi (kuva 3.2:4) on varustettu 24-bittisellä AD-muuntimella, mikroprosessorilla, kellolla, verkkokontrollerilla ja muistipiirillä. Toisin sanoen anturi ja loggeri ovat yhdessä laitteessa. BAT-anturi näyttää välittömästi mitatun arvon ilman muuntokertoimia. Eri näytön yksiköt (kPa, m H₂O tai bar) voi valita vapaasti. BAT-anturi on varustettu myös lämpömittarilla vakiolämpötilan kalibrointia varten.



Kuva 3.2:4 BAT-anturi.

- BAT-suodatinpää (kuva 3.2:5) ei sisällä mekaanisia tai elektronisia osia. Perus-suodatinpää on tehty polyasetaalimuovista, jossa suodatin on huokoista polyetyleenä. Se on asennettu pysyvästi maaperään halutulle syvyydelle.



Kuva 3.2:5 BAT-suodatinpää.

Suodatinpähän kytketyn putken kautta BAT-anturi voidaan laskea helposti alas suodatinpähän. Heti kun anturi on saavuttanut suodattimen pään, huokospaineen mittaaminen voi alkaa.

Huokospainemittaukset BAT-järjestelmällä voidaan suorittaa usealla tavalla:

- Manuaaliset mittaukset → Huokospainemittaus tehdään manuaalisesti. BAT-sensori lasketaan alas suodatinpähän kytkettyyn putkeen ja yhdistetään suodatinpähän pikaliittimen avulla. Noin kymmenen sekunnin kuluttua mittausarvo on vakiintunut ja voidaan lukea. Vakiintumisaika voi vaihdella muutamasta sekunnista kymmeneen minuuttiin. Mittauksen jälkeen anturi vedetään ylös ja tarvittaessa menettely voidaan toistaa seuraavassa mittauspaikassa.
- Jatkuvasti → Toinen toimintatapa on varustaa suodatinpään anturilla ja IS-akunkannattimella pitemmäksi ajaksi. Sisäänrakennettu tiedonkeruulaite on vakio-osa jokaisessa anturissa. Mittaukset tehdään automaattisesti anturiin asetetun aikavälin välein. Windows-tietokoneen ja IS-RS232-muuntimen tai IS-havaintolaitteen (kuva 3.2:6) avulla mittausdata voidaan ladata antureilta jaksoittain.



Kuva 3.2:6 IS-havaintolaite.

- Jatkuvasti verkossa → Kolmas mittaustapa on varustaa jokaisen suodatinpään anturilla, joista kaikki on yhdistetty yhteen kaapeliin. Anturit muodostavat digitaalisen verkon, jossa kaikki data on suoraan saatavissa yhdessä keskuspaikassa. Antureiden erillinen lukeminen ei tässä tapauksessa ole tarpeellista.

Lisätietoja menetelmästä on saatavilla web-sivustosta <http://www.bat-gms.com>.

3.3 Arvio menetelmien soveltamiskelpoisuudesta

Pitkänomaisella ratalinjalla ei useinkaan ennakolta tiedetä, mikä on stabiliteetiltaan vaarallisin paikka. Stabiliteettitilanteen seurantamittaukset ovat soveltuvia vasta silloin, kun pohjatutkimukset on tehty. Pohjatutkimusten perusteella voidaan paremmin arvioida, mitkä ovat ratalinjan stabiliteetiltaan vaarallisimpia paikkoja. Stabiliteettia kannattaa monitoroida vain vaarallisimmissa paikoissa. Pitkänomaista ratalinjaa pitkin kymmenien mittauspisteiden asentaminen olisi liian kallista ja usein myös tarpeetonta.

Seuraavassa on arvio jokaisen esitetyn mittausten menetelmän soveltamiskelpoisuudesta:

- Multi-Depth Deflektometri (MDD) → Tämä mittaussysteemi perustuu siirtymämittaukseen ja on kehitetty alun perin muihin käyttötarkoituksiin, mutta voi olla sovellettavissa myös ratarakenteiden stabiliteettitilanteen seurantaan. MDD:tä käytetään tavallisesti kimmoisten ja/tai pysyvien muodonmuutosten in-situ-mittauksiin esimerkiksi tien päällysrakennekerroksissa. Kimmoisia muodonmuutoksia voidaan käyttää tehollisen kimmomoduulin määrittämiseen eri päällysrakennekerroksista. Rataympäristössä käyttöön on kuitenkin yksi rajoitus. MDD voidaan yleensä asettaa vain sinne, missä pohjavedenpinta on mittalaitteiston alapuolella, koska pohjavesi saattaa häiritä MDD:n pitkäaikaisesta toimintaa.
- Mikroprosessoriohjattu maanvyöryjen varoitusjärjestelmä → Kuten MDD myös tämä järjestelmä perustuu siirtymämittaukseen. Se on kehitetty alun perin maanvyöryille alttiiden maamassojen stabiliteetin monitorointiin, mutta voi olla sovellettavissa myös ratarakenteiden stabiliteettitilanteen seurantaan ja maaperän liikkeiden ja tärinöiden havainnointiin. Tämän järjestelmän yksi etu on se, että tapahtuvan liikkeen signaalit ovat digitaalisessa muodossa. Tämä helpottaa niiden käsittelyä. Toisaalta antureiden häiriötön toiminta pitkäaikaisessa asennuksessa lienee yksi ongelma.

- Inklinometri → Maarakentamisessa inklinometreja käytetään muun muassa luiskien ja maanvyöryjen monitoroinnissa, jossa havaitaan liikevyöhykkeet ja määritetään, onko liike vakiota, kiihtyvää tai vaikuttavatko korjaavat toimenpiteet toivotulla tavalla. Tämä käyttötarkoitus soveltuu myös rataympäristöön. Inklinometriputki asennetaan tavallisimmin pystysuoraan kairausreikään, joka kulkee oletettujen liikevyöhykkeiden lävitse. Inklinometrimittausten käyttöperiaate ratapenkereen alla olevassa maassa näkyy kuvassa 3.1:5. Inklinometreja on käytetty Suomessakin raiteissa ja maapohjassa tapahtuvien liikkeiden seuraamiseen. Olemassa on myös digitaalisia kallistusantureita, joita käyttämällä lienee mahdollista rakentaa jatkuva-toimiseen mittaamiseen soveltuva inklinometrilaitteisto. Digitaalisen laitteiston käytön edut rataympäristössä ovat muun muassa jatkuvan seurannan mahdollisuus ja liikkuvien osien puuttuminen.

- Geodetect System → Tämä mittausmenetelmä perustuu valokuitutekniikkaan ja on kehitetty erityisesti rautatietekniikkaa varten. Se on havainnointijärjestelmä, joka varoittaa sortumisen riskistä rautateillä. Käyttämällä vahvistavaa geotekstiiliä, johon on integroitu valokuituja, voidaan tehdä mittausjärjestelmä, joka vahvistaa rakennetta ja samanaikaisesti seuraa maaperän siirtymiä valokuitujen venymiä käyttäen. Koska varoitussysteemi on laitettu suoraan geotekstiiliin, asennusongelmia ei synny uudella radalla. Sen sijaan asentaminen olemassa olevaan rataan osana geotekstiiliä saattaa olla erittäin vaikeaa. Suurin ongelma on se, että järjestelmä on kehitysvaiheessa ja sen oikeasta käytöstä ei ole vielä kokemusta. Yksi asennus on kuitenkin suunniteltu tehtäväksi Ranskassa lokakuussa 2004. Muita ongelmia ovat: sepelikerroksen kanssa kosketuksissa olevan geotekstiilin kestävyys on yleensä huono, liikenteen vaikutus järjestelmään on suuri (geotekstiili olisi asennettava penkereen sisään ainakin 50 cm sepelikerroksesta) ja mittauksen tavoitteet pitää määrittellä erittäin tarkasti järjestelmän optimoimiseksi (optimoimisella on suuri vaikutus hintaan).

- FBG-tekniikan käyttö betonirakenteiden monitoroinnissa → Tämä mittausjärjestelmä perustuu Fiber Bragg Gratings -tekniikkaan ja on kehitetty alun perin muihin käyttötarkoituksiin kuten betonirakenteiden monitorointiin, mutta voi olla sovellettavissa sellaisenaan myös ratarakenteiden stabiiliteettitilanteen seurantaan. Tätä tekniikkaa käytetään, kun tarvitaan paikallisia muodonmuutoksia. Valokuituanturien suurin hyöty tavallisiin seismisiin muodonmuutosantureihin nähden on, että ne vähentävät liitettävyysongelmia huomattavasti, koska yksi mittausjohto voi kantaa jopa 15 anturia. Lisäksi ne mahdollistavat galvaanisen eristämisen, joka on välttämätöntä tietokonepohjaisille järjestelmille, ja niiden herkkyys on parempi kuin tavallisilla muodonmuutosantureilla. Toisaalta tämän tekniikan suurin ongelma on se, että ratapenkereen lämpötilamuutokset näkyvät samalla tavoin kuin siirtymät/venymätkin. Periodisuus muuttuu ja siksi suodatettu aallonpituus siirtyy spektrissä, kun kuidussa tapahtuu muodonmuutoksia ja myös silloin, kun kuitua lämmitetään. Tämä lämpötilamuutosten vaikutus on varsin huono asia tekniikan soveltuvuuden kannalta.

- SOFO-anturit → Tämä mittausmenetelmä perustuu SOFO-tekniikkaan ja on kehitetty alun perin muihin käyttötarkoituksiin kuten massiivisten ja palkkimaisten betonirakenteiden monitorointiin, mutta se voi olla sovellettavissa sellaisenaan myös

ratarakenteiden stabiilitilanteen seurantaan. Tätä tekniikkaa käytetään, kun tarvitaan kahden minkä tahansa valitun pisteen suhteellinen siirtymä.

- Huokospainemittarit → Huokospaineella on vakavuustarkasteluissa erityisen tärkeä merkitys. Maakerrosten kuormituksen lisäys tai kevennys aiheuttaa muutoksia huokosvedenpaineessa. Huokospainemittaria käytetään yleisesti raiteissa ja maapohjassa tapahtuvien liikkeiden seuraamiseen ja huokosvedenpaineen monitorointiin, kun tutkitaan luiskien ja penkereiden stabiilitettä. Huokospainemittareista on olemassa monia eri tyyppisiä. Niistä yleisin ja tunnetuin on Standpipe-huokospainemittari. Tämä laite on halvempi ja helpompi käyttää kuin painemuuntimet, mutta ei ole suositeltava, kun on pystyttävä seuraamaan huokosvedenpaineen nopeita muutoksia. Silloin muuntimet toimivat paremmin. Standpipe-mittari voidaan tunkea myös hyvin pehmeisiin maalajeihin.
- Huokospaineanturit → Tämä tekniikka soveltuu hyvin rataympäristöön ja on jo käytetty Suomessa ratapenkereitten stabiilitetin tutkimiseen ainakin Tiina Mäkisen diplomityön yhteydessä. Huokosveden ylipaineen määrittäminen mittausten perusteella on yksinkertaista. Anturit pystytään asentamaan ratapenkereen alle ATUn ulkopuolelta. Ongelmaksi muodostuu menetelmän kalleus. Antureiden tulee reagoida nopeasti huokosvedenpaineen muutoksiin ja niiden tulee olla riittävän tarkkoja. Lisäksi mittalaitteen on kyettävä lukemaan antureiden lähettämää dataa riittävällä nopeudella. Jatkuvaan monitorointiin sähköiset huokospainemittarit kuten värähdyslankahuokospainemittarit soveltuvat paremmin kuin Standpipe-huokospainemittari.

4 YHTEENVETO

4.1 Johtopäätökset tarkastelluista stabiliteetin ongelmakohteista

Kaikissa tarkastelluissa kohteissa ratapenkereillä tapahtuu ilmeisesti ainakin jonkin verran siirtymiä ja liikkeitä. Lisäksi ratapenkereen vakavuus on stabiliteettilaskelmien mukaan huono tai jopa erittäin huono ($F < 1,0$). Nykyisten raiteiden vakavuus näyttää olevan jopa niin huono, että tilanteen säilyttäminen nykyisellään saattaa olla merkittävä riski junaturvallisuudelle.

Tilannetta on suunniteltu parannettavaksi seuraavilla tavoilla:

- Oriselkä → Nykyisen radan parantaminen on mahdollista rakentamalla varovaista paalutustapaa käyttäen silta nykyisen radan paikalle tai viereen. Mikäli nykyistä rataa ei parannettaisi nykyisellä ratalinjalla, on vaihtoehtoina tutkittu sekä nykyisen radan pohjois- että eteläpuolelta myös uusia ratalinjoja, joilla ongelmallinen rataosuus voidaan ohittaa.
- Suurisuo → Uusi ratalinja kiertää pehmeikön eteläpuolitse ja liittyy nykyiseen rataan Nälkämäen leikkauksen jälkeen.
- Tikkala → Tikkan radapihan kohdalla uuden radan pääraide on nykyisellä paikallaan radapihan eteläpäähän asti, josta se linjataan viistosti radapihan poikki siten, että etäisyys kasvaa oikaisujakson alkuun mennessä noin 20 m:iin nykyisestä radasta. Varsinaisella oikaisujaksolla uusi rata on linjattu Pyhäselkä–Tohmajärvi-kuntarajan tuntumassa, josta se voidaan johtaa liittymään nykyiseen rataan noin km:llä 597 tai jatkumaan uutena ratana sen rinnalla. Oikaisujakson pohjoispuolelle rakennetaan uusi rata nykyisen viereen 15 m etäisyydelle siitä ja Lotokanjoken yli uusi ratasilta, jonka pohjoispuolella uusi rata liitetään nykyiseen.
- Kiimasuo → Uusi ratalinja rakennetaan uudelle paikalle.

Kriittisimpien osuuksien tunnistaminen onnistuu kohtuullisen hyvin toisissa kohteissa, toisissa ei. Esimerkiksi Tikkalassa rataosuus on niin pitkä, että kaikkien ongelmallisimpien paikkojen tunnistaminen edellyttäisi mittavia pohjatutkimuksia ja tulos voisi silti jäädä epävarmaksi. Ongelmallisimien osuus on Oriselän kohdalla km 229+920... km 231+200 ja Kiimasuon kohdalla väleillä km 155+650–156+000 ja km 156+100–156+400.

Radantarkastusmittausten tulokset eivät paljon auttaneet. Näyttää siltä, että radantarkastustulosten perusteella ongelmallisimmiksi osoittautuneet paikat eivät ole yhteneviä pohjasuhteiden perusteella stabiliteetiltaan ongelmallisimmiksi otaksuttujen paikkojen kanssa. Syynä tähän voi olla se, että ongelmallisimmilla kohdilla on saatettu tehdä radan kunnossapitotoimenpiteitä juuri ennen radantarkastusmittausten tekemistä. Tietoja näiden toimenpiteiden ajankohdista ei kuitenkaan ollut käytettävissä. Ongelmallisimpien kohtien tunnistamisessa hyödyllisimpiä olisivatkin ilmeisesti juuri toteutumatiedot todellisista kunnossapitotoimenpiteistä.

4.2 Johtopäätökset stabiliteettitilanteen seurantamittausmenetelmästä

- Multi-Depth Deflektometri (MDD) → Tämä mittausjärjestelmä perustuu siirtymämittaukseen ja on kehitetty alun perin muihin käyttötarkoituksiin, mutta voi olla sovellettavissa myös ratarakenteiden stabiliteettitilanteen seurantaan. MDD:tä

käytetään tavallisesti kimmoisten ja/tai pysyvien muodonmuutosten in-situ-mittauksiin esimerkiksi tien päällysrakennekerroksissa. Rataympäristössä käyttöön on kuitenkin yksi rajoitus. MDD voidaan yleensä asentaa vain sinne, missä pohjavedenpinta on mittalaitteiston alapuolella, koska pohjavesi saattaa haitata MDD:n pitkäaikaista toimintaa.

- Inklinometri → Maarakentamisessa inklinometreja käytetään muun muassa luiskien ja maanvyöryjen monitoroinnissa, jossa havaitaan liikevyöhykkeet ja määritetään, onko liike vakiota, kiihtyvää tai vaikuttavatko korjaavat toimenpiteet toivotulla tavalla. Tämä käyttötarkoitus soveltuu myös rataympäristöön. Inklinometriputki asennetaan tavallisimmin pystysuoraan kairausreikään, joka kulkee oletettujen liikevyöhykkeiden lävitse. Olemassa on myös digitaalisia kallistusantureita, joita käyttämällä lienee mahdollista rakentaa jatkuvatoimiseen mittaamiseen soveltuva inklinometrilaitteisto. Digitaalisen laitteiston käytön edut rataympäristössä ovat muun muassa jatkuvan seurannan mahdollisuus ja liikkuvien mekaanisten osien puuttuminen.
- Geodetect System → Tämä mittausmenetelmä perustuu valokuitutekniikkaan ja on kehitetty erityisesti rautatietekniikkaa varten. Se on havainnointijärjestelmä, joka varoittaa sortumisen riskistä rautateillä. Käyttämällä vahvistavaa geotekstiiliä, johon on integroitu valokuituja, voidaan tehdä mittausjärjestelmä, joka vahvistaa rakennetta ja samanaikaisesti seuraa maaperän siirtymiä valokuitujen venymiä käyttäen. Koska varoitussysteemi on laitettu suoraan geotekstiiliin, asennusongelmia ei synny uudella radalla. Sen sijaan asentaminen olemassa olevaan rataan osana geotekstiiliä saattaa olla erittäin vaikeaa. Suurin ongelma on se, että järjestelmä on kehitysvaiheessa ja sen oikeasta käytöstä ei ole vielä kokemusta. Yksi asennus on kuitenkin suunniteltu tehtäväksi Ranskassa lokakuussa 2004. Muita ongelmia ovat: sepelikerroksen kanssa kosketuksissa olevan geotekstiilin kestävyys on yleensä huono, liikenteen vaikutus järjestelmään on suuri (geotekstiili olisi asennettava penkereen sisään ainakin 50 cm sepelikerroksesta) ja mittauksen tavoitteet pitää määrittellä erittäin tarkasti järjestelmän optimoimiseksi (optimoimisella on suuri vaikutus hintaan). Suomalaisiin olosuhteisiin soveltuva ratapenkereen stabiliteetti-tilannetta monitoroiva versio valokuitutekniikasta voisi olla valokuidun integrointi esimerkiksi karkeapintaisen muovisen suojaputken sisään. Ratapenkereeseen pituussuuntaisesti asennettuna valokuitutekniikka saattaisi tällöin soveltua pitkäkhöjenkin pehmeikköosuuksien jatkuvaan seurantaan
- Huokospaineanturit → Tämä tekniikka soveltuu teknisesti hyvin rataympäristöön ja sitä on jo käytetty Suomessa ratapenkereitten stabiliteetin tutkimiseen ainakin Tiina Mäkisen diplomityön yhteydessä. Huokosveden ylipaineen määrittäminen mittaus-ten perusteella on yksinkertaista. Anturit pystytään asentamaan ratapenkereen alle ATUn ulkopuolelta. Ongelmaksi muodostuu menetelmän kalleus. Antureiden tulee reagoida nopeasti huokosvedenpaineen muutoksiin ja niiden tulee olla riittävän tarkkoja. Lisäksi mittalaitteen on kyettävä lukemaan antureiden lähettämää dataa riittävällä nopeudella. Jatkuvaan monitorointiin sähköiset huokospainemittarit soveltuvat paremmin kuin Standpipe-huokospainemittari. Jossakin määrin kyseenalaista on myös se, mahdollistaako huokosvedenpaineen mittaus yhtä varhaisen alkamassa olevan sortuman ennakoinnin kuin tarkkoihin siirtymä- tai venymä-mittauksiin perustuvat tekniikat.

4.3 Jatkotoimenpide-ehdotukset

- Ehdotetaan digitaalitoimisen inklinometrimittauslaitteiston koekohteen toteuttamista mahdollisimman pian.
- Ehdotetaan valokuitutekniikkaan perustuvan mittaustekniikan tarkempaa selvittämistä ja mahdollisen koekohteen toteutusta jatkotutkimusvaiheen yhteydessä.
- Ehdotetaan eloperäisten maalajien (turve ja lieju) alueella olevien ratapenkereiden stabiliteettiasioita koskevan laajemman tutkimushankkeen ohjelmointia. Aikataulullisesti tämä voisi tapahtua viimeistään silloin, kun käynnissä olevan RHK:n stabiliteettilaskentaohjeen lopputulos on käytettävissä. Hanke voisi olla mahdollista toteuttaa yhteispohjoismaisena, koska ainakin Ruotsissa eloperäisille maille perustetut radat ja niiden ongelmat ovat tällä hetkellä varsin suuren mielenkiinnon kohteena.

LÄHDELUETTELO

Bidim Geosynthetics (2003). Geodetect – the world’s first ”intelligent” geosynthetic!. Konferenssimateriaali, ”Stabiloitu pilarikenttä ja Geolujitteet” Teemailtapäivä, 26.2.2004, Espoossa.

Comforth, D. H. & Mikkelsen, P. E. (1996). Continuous monitoring of the slope above an excavation within a marginally stable landslide. Proceedings of the seventh international symposium on landslides. Trondheim, Norway. Vol. 3, pp. 1539–1544.

Dynatest® Group 2004 <http://www.dynatest.com> [verkkodokumentti] [viitattu 23.4.2004]. Saatavissa: <http://www.dynatest.com/downloads/csir/MDD%20SPECSf.pdf>

Gage Technique 2003 <http://www.gage-technique.demon.co.uk> [verkkodokumentti] [viitattu 8.4.2004]. Saatavissa: <http://www.gage-technique.demon.co.uk/instruments/inclin-intro.html>

Macfarlane, D. F. Et al. (1996). Monitoring strategy and performance of instrumentation in the Clyde Power Project landslides, New Zealand. Proceedings of the seventh international symposium on landslides. Trondheim, Norway. Vol. 3, pp. 1557–1564.

Mäkinen, T. (2003). Huokospaineen merkitys ratapenkereen vakavuuteen. Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, Espoo. 66 p.

Nancey, A. (2004). Henkilökohtainen sähköpostiyhteys, 11.3.2004.

Smartec Sa 2003 <http://www.smartec.ch> [verkkodokumentti] [viitattu 10.5.2004]. Saatavissa: <http://www.smartec.ch/Bibliography/PDF/C100.pdf>.

Taulukko L1:1 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (9.11.1998 ja 20.10.1998).

SUURISUO									
9.11.1998 (eteläinen raide)					20.10.1998 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100	18			176 (kiitettävä)	0 – 100	95		
	101 – 200	7				101 – 200	86		
	201 – 300	6				201 – 300	27		
	301 – 400	6				301 – 400	46		
	401 – 500	12				401 – 500	4		
	501 – 600	2				501 – 600	13		
	601 – 700	9				601 – 700	9		
	701 – 800	15				701 – 800	5		
	801 – 900	37				801 – 900	23		
	901 – 979	22				901 – 994	5		
	0 – 979	134	0	0		0 – 994	313	0	0
177 (kiitettävä)	0 – 100	10			177 (kiitettävä)	0 – 100			
	101 – 200	17				101 – 200			
	201 – 300	12				201 – 300	6		
	301 – 400					301 – 400	6		
	401 – 500	11				401 – 500	13		
	501 – 600	9				501 – 600	48		
	601 – 700	4				601 – 700	72		
	701 – 800	8				701 – 800	54		
	801 – 900					801 – 900	60		
	901 – 1000	2				901 – 1000	42		
	1001 – 1002					1001 – 1002	2		
0 – 1002	73	0	0	0 – 1002	303	0	0		

Taulukko LI:2 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (29.3.1999 ja 30.3.1999).

SUURISUO									
29.3.1999 (eteläinen raide)					30.3.1999 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (hyvä)	0 – 100	22	2		176 (kiitettävä)	0 – 100	23		
	101 – 200	11				101 – 200	12		
	201 – 300	16				201 – 300	6		
	301 – 400	7				301 – 400	10		
	401 – 500	15				401 – 500			
	501 – 600	3				501 – 600			
	601 – 700	10				601 – 700			
	701 – 800	31	4			701 – 800			
	801 – 900	48				801 – 900	17		
	901 – 985	48				901 – 993	6		
0 – 985	211	6	0	0 – 993	74	0	0		
177 (kiitettävä)	0 – 100	25			177 (hyvä)	0 – 100			
	101 – 200	24				101 – 200			
	201 – 300	15				201 – 300	7		
	301 – 400					301 – 400	8		
	401 – 500	16				401 – 500	7		
	501 – 600	11				501 – 600	3		
	601 – 700	2				601 – 700	5	2	
	701 – 800	12				701 – 800	9		
	801 – 900	6				801 – 900	8		
	901 – 1000	8				901 – 1000			
	1001 – 1006					1001 – 1002			
	0 – 1006	119	0	0		0 – 1002	47	2	0

Taulukko L1:3 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (26.8.1999).

SUURISUO									
26.8.1999 (eteläinen raide)					26.8.1999 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (hyvä)	0 – 100	27			176 (kiitettävä)	0 – 100	11		
	101 – 200	14	2			101 – 200	3		
	201 – 300	8				201 – 300	10		
	301 – 400	8				301 – 400	3		
	401 – 500	20				401 – 500	2		
	501 – 600	4				501 – 600			
	601 – 700	12				601 – 700			
	701 – 800	16	2			701 – 800	2		
	801 – 900	29	2			801 – 900	32		
	901 – 984	12				901 – 991	4		
	0 – 984	150	6	0		0 – 991	67	0	0
177 (hyvä)	0 – 100	12			177 (hyvä)	0 – 100			
	101 – 200	10	2			101 – 200			
	201 – 300	2				201 – 300	10		
	301 – 400	2				301 – 400	6		
	401 – 500	10				401 – 500	9		
	501 – 600	11				501 – 600	4		
	601 – 700	4				601 – 700	6	4	
	701 – 800	8				701 – 800			
	801 – 900	3				801 – 900	7	2	
	901 – 1000	4				901 – 997	13		
	1001 – 1001						-		
	0 – 1001	66	2	0		0 – 997	55	6	0

Taulukko L1:4 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (17.11.1999 ja 2.11.1999).

SUURISUO									
17.11.1999 (eteläinen raide)					2.11.1999 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (kiitettävä)	0 – 100	16		
	101 – 200					101 – 200	5		
	201 – 300					201 – 300	9		
	301 – 400					301 – 400	2		
	401 – 500					401 – 500	11		
	501 – 600					501 – 600			
	601 – 700	2				601 – 700			
	701 – 800					701 – 800	2		
	801 – 900	22				801 – 900	33		
	901 – 983	7				901 – 989	9		
	0 – 983	31	0	0		0 – 989	87	0	0
177 (hyvä)	0 – 100	2			177 (hyvä)	0 – 100	2		
	101 – 200	14	2			101 – 200			
	201 – 300	2				201 – 300	12		
	301 – 400	2				301 – 400	8		
	401 – 500	6				401 – 500	5		
	501 – 600	7				501 – 600	5	1	
	601 – 700	2				601 – 700	5	3	
	701 – 800	13				701 – 800			
	801 – 900	4				801 – 900	8	2	
	901 – 1000	2				901 – 999	8		
	1001 – 1003					-			
	0 – 1003	54	2	0		0 – 999	53	6	0

Taulukko L1:5 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (5.4.2000 ja 11.4.2000).

SUURISUO									
5.4.2000 (eteläinen raide)					11.4.2000 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (kiitettävä)	0 – 100	3		
	101 – 200					101 – 200	4		
	201 – 300					201 – 300	7		
	301 – 400					301 – 400			
	401 – 500					401 – 500	8		
	501 – 600					501 – 600			
	601 – 700	4				601 – 700	2		
	701 – 800					701 – 800	8		
	801 – 900	8				801 – 900	37		
	901 – 983	2				901 – 989	5		
0 – 983	14	0	0	0 – 989	74	0	0		
177 (hyvä)	0 – 100	2			177 (hyvä)	0 – 100	12		
	101 – 200	13	2			101 – 200			
	201 – 300	5				201 – 300	15		
	301 – 400	2				301 – 400	6		
	401 – 500	2				401 – 500	6		
	501 – 600	2				501 – 600	7	3	
	601 – 700	5				601 – 700	3		
	701 – 800	8				701 – 800	5		
	801 – 900					801 – 900	6	2	
	901 – 1000	2				901 – 997	2		
0 – 1000	41	2	0	0 – 997	62	5	0		

Taulukko LI:6 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (24.8.2000).

SUURISUO									
24.8.2000 (eteläinen raide)					24.8.2000 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (hyvä)	0 – 100	41		
	101 – 200					101 – 200	22		
	201 – 300					201 – 300	14	2	
	301 – 400					301 – 400	4		
	401 – 500					401 – 500	7		
	501 – 600	9				501 – 600	4		
	601 – 700	15				601 – 700			
	701 – 800	33				701 – 800	17		
	801 – 900	43				801 – 900	54		
	901 – 983	67				901 – 992	15		
	0 – 983	167	0	0		0 – 992	178	2	0
177 (hyvä)	0 – 100	77			177 (hyvä)	0 – 100	9		
	101 – 200	86	4			101 – 200			
	201 – 300	66				201 – 300	23		
	301 – 400	21				301 – 400	23		
	401 – 500	40				401 – 500	10		
	501 – 600	60				501 – 600	12	2	
	601 – 700	11				601 – 700	15	3	
	701 – 800	17				701 – 800	10		
	801 – 900	5				801 – 900	10	2	
	901 – 1000	16				901 – 998	24		
	1001 – 1003					-			
	0 – 1003	399	4	0		0 – 998	136	7	0

Taulukko L1:7 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (8.11.2000 ja 24.10.2000).

SUURISUO									
8.11.2000 (eteläinen raide)					24.10.2000 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (kiitettävä)	0 – 100	99		
	101 – 200					101 – 200	100		
	201 – 300					201 – 300	74		
	301 – 400					301 – 400	79		
	401 – 500					401 – 500	22		
	501 – 600					501 – 600	48		
	601 – 700	10				601 – 700	78		
	701 – 800	45				701 – 800	65		
	801 – 900	44				801 – 900	62		
	901 – 985	68				901 – 991	23		
	0 – 985	167	0	0		0 – 991	650	0	0
177 (hyvä)	0 – 100	81			177 (hyvä)	0 – 100	2		
	101 – 200	78	2			101 – 200			
	201 – 300	54				201 – 300	17		
	301 – 400	10				301 – 400	30		
	401 – 500	25				401 – 500	80		
	501 – 600	15				501 – 600	86		
	601 – 700	6				601 – 700	100	6	
	701 – 800	18				701 – 800	100		
	801 – 900	4				801 – 900	100		
	901 – 1000	23				901 – 1000	90		
	1001 – 1005	2				1001 – 1001	1		
	0 – 1005	316	2	0		0 – 1001	606	6	0

Taulukko L1:8 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (4.4.2001 ja 10.4.2001).

SUURISUO									
4.4.2001 (eteläinen raide)					10.4.2001 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (hyvä)	0 – 100	58	3	
	101 – 200					101 – 200	30		
	201 – 300					201 – 300	11		
	301 – 400					301 – 400	25	5	
	401 – 500					401 – 500	12		
	501 – 600					501 – 600			
	601 – 700	6				601 – 700	2		
	701 – 800	20				701 – 800	18		
	801 – 900	33				801 – 900	45		
	901 – 983	46				901 – 990	9	1	
0 – 983	105	0	0	0 – 990	210	9	0		
177 (hyvä)	0 – 100	22			177 (hyvä)	0 – 100	16		
	101 – 200	37	2			101 – 200			
	201 – 300	17				201 – 300	12		
	301 – 400	2				301 – 400	12		
	401 – 500	14				401 – 500	7		
	501 – 600	12				501 – 600	21	7	
	601 – 700					601 – 700	8		
	701 – 800	13				701 – 800	18		
	801 – 900	2				801 – 900	12		
	901 – 1000	25				901 – 999	18		
	1001 – 1004					-			
0 – 1004	144	2	0	0 – 999	124	7	0		

Taulukko L1:9 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (20.8.2001 ja 21.8.2001).

SUURISUO									
20.8.2001 (eteläinen raide)					21.8.2001 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (hyvä)	0 – 100	50		
	101 – 200					101 – 200	31		
	201 – 300					201 – 300	23		
	301 – 400					301 – 400	7		
	401 – 500					401 – 500	15		
	501 – 600					501 – 600	3		
	601 – 700	5				601 – 700	6		
	701 – 800					701 – 800	33		
	801 – 900	35				801 – 900	56	3	
	901 – 983	33				901 – 992	16		
	0 – 983	73	0	0		0 – 992	240	3	0
177 (kiitettävä)	0 – 100	22			177 (tyydyttävä)	0 – 100	24		
	101 – 200	27				101 – 200	2		
	201 – 300	20				201 – 300	11		
	301 – 400	5				301 – 400	18		
	401 – 500	15				401 – 500	7		
	501 – 600	4				501 – 600	25	3	
	601 – 700	2				601 – 700	43	3	
	701 – 800	14				701 – 800	21		
	801 – 900	3				801 – 900	13		
	901 – 1000	28				901 – 997	39	5	
	1001 – 1002	4				-			
0 – 1002	144	0	0	0 – 997	203	11	0		

Taulukko LI:10 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (21.10.2001 ja 16.10.2001).

SUURISUO									
31.10.2001 (eteläinen raide)					16.10.2001 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (kiitettävä)	0 – 100	65		
	101 – 200					101 – 200	50		
	201 – 300					201 – 300	14		
	301 – 400					301 – 400	12		
	401 – 500					401 – 500	12		
	501 – 600					501 – 600			
	601 – 700	6				601 – 700	2		
	701 – 800	15				701 – 800	30		
	801 – 900	32				801 – 900	50		
	901 – 986	38				901 – 991	7		
	0 – 986	91	0	0		0 – 991	242	0	0
177 (kiitettävä)	0 – 100	18			177 (kiitettävä)	0 – 100	15		
	101 – 200	33				101 – 200	2		
	201 – 300	20				201 – 300	16		
	301 – 400	9				301 – 400	18		
	401 – 500	19				401 – 500	14		
	501 – 600	27				501 – 600	30		
	601 – 700	3				601 – 700	41		
	701 – 800	14				701 – 800	17		
	801 – 900	6				801 – 900	35		
	901 – 1000	28				901 – 999	22		
	1001 – 1002						-		
	0 – 1002	171	0	0		0 – 999	210	0	0

Taulukko L1:11 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (26.3.2002 ja 2.4.2002).

SUURISUO									
26.3.2002 (eteläinen raide)					2.4.2002 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (hyvä)	0 – 100	56		
	101 – 200					101 – 200	24		
	201 – 300					201 – 300	27		
	301 – 400					301 – 400	15		
	401 – 500					401 – 500	15		
	501 – 600					501 – 600	3		
	601 – 700	6				601 – 700	6		
	701 – 800	43				701 – 800	25		
	801 – 900	44				801 – 900	52		
	901 – 984	66				901 – 993	14	3	
	0 – 984	159	0	0		0 – 993	237	3	0
177 (kiitettävä)	0 – 100	50			177 (hyvä)	0 – 100	26		
	101 – 200	74				101 – 200	3		
	201 – 300	47				201 – 300	22	3	
	301 – 400	8				301 – 400	11		
	401 – 500	34				401 – 500	12		
	501 – 600	38				501 – 600	22		
	601 – 700	6				601 – 700	25		
	701 – 800	20				701 – 800	21	6	
	801 – 900	2				801 – 900	19		
	901 – 1000	23				901 – 995	18		
	1001 – 1004					-			
0 – 1004	302	0	0	0 – 995	179	9	0		

Taulukko L1:12 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (19.8.2002).

SUURISUO									
19.8.2002 (eteläinen raide)					19.8.2002 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (kiitettävä)	0 – 100	22		
	101 – 200					101 – 200	10		
	201 – 300					201 – 300	2		
	301 – 400					301 – 400			
	401 – 500					401 – 500			
	501 – 600					501 – 600			
	601 – 700	8				601 – 700			
	701 – 800					701 – 800			
	801 – 900	21				801 – 900	6		
	901 – 984	2				901 – 990	4		
	0 – 984	31	0	0		0 – 990	44	0	0
177 (kiitettävä)	0 – 100	13			177 (hyvä)	0 – 100	19		
	101 – 200	38				101 – 200	2		
	201 – 300	11				201 – 300	20	2	
	301 – 400	11				301 – 400	18		
	401 – 500	4				401 – 500	10		
	501 – 600	13				501 – 600	11		
	601 – 700	5				601 – 700	7		
	701 – 800	14				701 – 800	3		
	801 – 900	4				801 – 900			
	901 – 1000	18				901 – 999			
	1001 – 1004					-			
0 – 1004	131	0	0	0 – 999	90	2	0		

Taulukko LI:13 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (6.11.2002 ja 22.10.2002).

SUURISUO									
6.11.2002 (eteläinen raide)					22.10.2002 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (kiitettävä)	0 – 100	80		
	101 – 200					101 – 200	65		
	201 – 300					201 – 300	14		
	301 – 400					301 – 400	6		
	401 – 500					401 – 500	2		
	501 – 600					501 – 600			
	601 – 700	7				601 – 700			
	701 – 800	9				701 – 800			
	801 – 900	27				801 – 900	6		
	901 – 984	30				901 – 992			
0 – 984	73	0	0	0 – 992	173	0	0		
177 (kiitettävä)	0 – 100	29			177 (hyvä)	0 – 100	19		
	101 – 200	42				101 – 200	2		
	201 – 300	22				201 – 300	19	3	
	301 – 400	4				301 – 400	32		
	401 – 500	19				401 – 500	11		
	501 – 600	11				501 – 600	35		
	601 – 700	6				601 – 700	60		
	701 – 800	14				701 – 800	22		
	801 – 900	1				801 – 900	44		
	901 – 1000	21				901 – 999	14		
	1001 – 1004						-		
0 – 1004	169	0	0	0 – 999	258	3	0		

Taulukko LI:14 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (18.2.2003 ja 20.2.2003).

SUURISUO									
18.2.2003 (eteläinen raide)					20.2.2003 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (kiitettävä)	0 – 100	67		
	101 – 200					101 – 200	56		
	201 – 300					201 – 300	10		
	301 – 400					301 – 400	3		
	401 – 500	2				401 – 500	3		
	501 – 600	8				501 – 600			
	601 – 700	6				601 – 700			
	701 – 800	62				701 – 800			
	801 – 900	73				801 – 900	6		
	901 – 985	69				901 – 993			
	0 – 985	220	0	0		0 – 993	145	0	0
177 (hyvä)	0 – 100	100	2		177 (hyvä)	0 – 100	29		
	101 – 200	88				101 – 200	2		
	201 – 300	64				201 – 300	22	5	
	301 – 400	9				301 – 400	18	2	
	401 – 500	25				401 – 500	18		
	501 – 600	23				501 – 600	19		
	601 – 700	7				601 – 700	22		
	701 – 800	18				701 – 800	17		
	801 – 900	5				801 – 900	14		
	901 – 1000	23				901 – 1000	15		
	1001 – 1005								
	0 – 1005	362	2	0		0 – 1000	176	7	0

Taulukko L1:15 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (1.4.2003 ja 3.4.2003).

SUURISUO									
1.4.2003 (eteläinen raide)					3.4.2003 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (hyvä)	0 – 100	95	2	
	101 – 200					101 – 200	72		
	201 – 300					201 – 300	24		
	301 – 400					301 – 400	6		
	401 – 500					401 – 500	5		
	501 – 600	9				501 – 600			
	601 – 700	14				601 – 700			
	701 – 800	70				701 – 800			
	801 – 900	73				801 – 900	10		
	901 – 986	74				901 – 992	4		
	0 – 986	240	0	0		0 – 992	216	2	0
177 (hyvä)	0 – 100	100			177 (hyvä)	0 – 100	25		
	101 – 200	89	3			101 – 200	2		
	201 – 300	75				201 – 300	21	5	
	301 – 400	19				301 – 400	20	2	
	401 – 500	57				401 – 500	20		
	501 – 600	88				501 – 600	45		
	601 – 700	29				601 – 700	76		
	701 – 800	29				701 – 800	59		
	801 – 900	11				801 – 900	55		
	901 – 1000	26				901 – 1000	35	2	
	1001 – 1004						-		
	0 – 1004	523	3	0		0 – 1000	358	9	0

Taulukko LI:16 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (18.8.2003).

SUURISUO									
18.8.2003 (eteläinen raide)					18.8.2003 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100	1			176 (hyvä)	0 – 100	5		
	101 – 200					101 – 200	6		
	201 – 300					201 – 300			
	301 – 400					301 – 400			
	401 – 500					401 – 500	3	1	
	501 – 600	3				501 – 600	3		
	601 – 700	8				601 – 700	1		
	701 – 800					701 – 800			
	801 – 900	2				801 – 900	1		
	901 – 982					901 – 1000	2		
0 – 982	14	0	0	0 – 1000	21	1	0		
177 (kiitettävä)	0 – 100				177 (kiitettävä)	0 – 100	1		
	101 – 200					101 – 200			
	201 – 300					201 – 300			
	301 – 400					301 – 400			
	401 – 500					401 – 500			
	501 – 600					501 – 600	4		
	601 – 700					601 – 700	3		
	701 – 800					701 – 800	5		
	801 – 900					801 – 900			
	901 – 1000					901 – 1000			
	1001 – 1002					-			
0 – 1002	0	0	0	0 – 1000	13	0	0		

Taulukko L1:17 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (5.11.2003 ja 21.10.2003).

SUURISUO									
5.11.2003 (eteläinen raide)					21.10.2003 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100				176 (kiitettävä)	0 – 100	2		
	101 – 200					101 – 200	6		
	201 – 300					201 – 300			
	301 – 400					301 – 400			
	401 – 500					401 – 500			
	501 – 600	1				501 – 600	2		
	601 – 700	6				601 – 700			
	701 – 800					701 – 800			
	801 – 900	8				801 – 900	1		
	901 – 983	11				901 – 1000	5		
0 – 983	26	0	0	0 – 1000	16	0	0		
177 (kiitettävä)	0 – 100	3			177 (kiitettävä)	0 – 100			
	101 – 200	4				101 – 200			
	201 – 300	2				201 – 300			
	301 – 400					301 – 400	1		
	401 – 500	3				401 – 500			
	501 – 600	1				501 – 600	1		
	601 – 700					601 – 700	3		
	701 – 800					701 – 800	4		
	801 – 900					801 – 900			
	901 – 1000	1				901 – 1000			
0 – 1000	14	0	0	0 – 1000	9	0	0		

Taulukko LI:18 Suurisuon kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (6.4.2004 ja 8.4.2004).

SUURISUO									
6.4.2004 (eteläinen raide)					8.4.2004 (pohjoinen raide)				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
176 (kiitettävä)	0 – 100	1			176 (hyvä)	0 – 100	2		
	101 – 200					101 – 200	10		
	201 – 300					201 – 300			
	301 – 400					301 – 400			
	401 – 500					401 – 500	1		
	501 – 600	1				501 – 600			
	601 – 700	1				601 – 700	12	3	
	701 – 800					701 – 800	10		
	801 – 900	1				801 – 900	3		
	901 – 1000					901 – 1000	4		
	0 – 1000	4	0	0		0 – 1000	42	3	0
177 (kiitettävä)	0 – 100	2			177 (hyvä)	0 – 100			
	101 – 200	3				101 – 200	10	4	
	201 – 300	2				201 – 300	5		
	301 – 400					301 – 400			
	401 – 500	1				401 – 500			
	501 – 600	1				501 – 600	3		
	601 – 700	3				601 – 700	4		
	701 – 800					701 – 800	1		
	801 – 900					801 – 900			
	901 – 985					901 – 1000			
	0 – 985	12	0	0		0 – 1000	23	4	0

Taulukko L2:1 Tikkalan kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (6.5.1999 ja 4.10.2001).

TIKKALA									
6.5.1999					4.10.2001				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
593 (hyvä)	0 – 100	15			593 (tyydyttävä)	0 – 100	13		
	101 – 200	10				101 – 200	19		
	201 – 300	37				201 – 300	13		
	301 – 400	20				301 – 400	27		
	401 – 500	9	2			401 – 500	14		
	501 – 600	39	6			501 – 600	33		
	601 – 700	30	2			601 – 700	29	11	
	701 – 717					701 – 714			
	0 – 717	160	10	0		0 – 714	148	11	0
594 (tyydyttävä)	0 – 100	14	6		594 (epä-tyydyttävä)	0 – 100	19	5	
	101 – 200	18	2			101 – 200	23	2	
	201 – 300	30				201 – 300	23	2	
	301 – 400	19				301 – 400	34	3	
	401 – 500	30	3			401 – 500	54		22
	501 – 600	14				501 – 600	19		
	601 – 700	7				601 – 700	20	7	
	701 – 800	28				701 – 800	13	2	
	801 – 900	36				801 – 900	31	5	
	901 – 1000	23	2			901 – 1000	6		
	1001 – 1013	8				1001 – 1015			
	0 – 1013	227	13	0		0 – 1015	242	26	22
595 (epä-tyydyttävä)	0 – 100	10	2		595 (tyydyttävä)	0 – 100	7		
	101 – 200	2				101 – 200	6		
	201 – 300	31	2			201 – 300	15		
	301 – 400	24	2			301 – 400	13		
	401 – 500	20	4			401 – 500	37	4	
	501 – 600	14				501 – 600	32	2	
	601 – 700	22				601 – 700	27	6	
	701 – 800	29	3			701 – 800	13		
	801 – 900	22	8			801 – 900	19	2	
	901 – 1000	24	5			901 – 999	10	2	
	1001 – 1001					-			
0 – 1001	198	26	0	0 – 999	179	16	0		
596 (hyvä)	0 – 100	6			596 (hyvä)	0 – 100	5		
	101 – 200	5				101 – 200	17		
	201 – 300	44				201 – 300	8	2	
	301 – 400	9				301 – 400	7		
	401 – 500					401 – 500	9		
	501 – 600	15				501 – 600	38	4	
	601 – 700	2				601 – 700	2		
	701 – 800	5				701 – 800	5		

LIITE 2 sivu 2 (6)

	801 – 900	14				801 – 900					
	901 – 1000	12	2			901 – 1000	16	2			
	1001 – 1001										
	<i>0 – 1001</i>	<i>112</i>	<i>2</i>	<i>0</i>		<i>0 – 1000</i>	<i>107</i>	<i>8</i>	<i>0</i>		
597 (tydyttävä)	0 – 100	11			597 (epä- tydyttävä)	0 – 100	29	6			
	101 – 200	10				101 – 200	31	2			
	201 – 300	7				201 – 300	34				
	301 – 400					301 – 400	4				
	401 – 500	6				401 – 500	8				
	501 – 600	21				501 – 600	11				
	601 – 700	34	18			601 – 700	44	15			
	701 – 800	9				701 – 800	11				
	801 – 900	13				801 – 900	17				
	901 – 999	31	3			901 – 1000	44	8			
	<i>0 – 999</i>	<i>142</i>	<i>21</i>	<i>0</i>		<i>0 – 1000</i>	<i>233</i>	<i>31</i>	<i>0</i>		
	598 (tydyttävä)	0 – 100	5				598 (tydyttävä)	0 – 100	35	7	
		101 – 200	6					101 – 200			
201 – 300		24		2	201 – 300	3					
301 – 400		5			301 – 400	5		2			
401 – 500		17			401 – 500	7					
501 – 600		15	4		501 – 600	2					
601 – 700		11	2		601 – 700						
701 – 800		49		17	701 – 800	34			8		
801 – 900		4			801 – 900	2					
901 – 1000		25			901 – 1000	8		2			
1001 – 1013					1001 – 1001	2					
<i>0 – 1013</i>		<i>161</i>	<i>6</i>	<i>19</i>	<i>0 – 1001</i>	<i>98</i>		<i>11</i>	<i>8</i>		
599 (epä- tydyttävä)		0 – 100	4			599 (tydyttävä)		0 – 100	21		
	101 – 200	14			101 – 200		2				
	201 – 300	43	10		201 – 300		29	8			
	301 – 400	38	6		301 – 400		32				
	401 – 500	38	6		401 – 500		18	5			
	501 – 600	47	3		501 – 600		4				
	601 – 700	21			601 – 700		2				
	701 – 800	53	6		701 – 800		21	2			
	801 – 900	19	2		801 – 900		27	3			
	901 – 1000	2			901 – 1000		21				
	<i>0 – 1000</i>	<i>279</i>	<i>33</i>	<i>0</i>	<i>0 – 1000</i>		<i>177</i>	<i>18</i>	<i>0</i>		

Taulukko L2:2 Tikkalan kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *
-luokkien virheiden määrät (16.5.2002 ja 15.8.2002).

TIKKALA									
16.5.2002					15.8.2002				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
593 (hyvä)	0 – 100	21			593 (hyvä)	0 – 100	17		
	101 – 200	23				101 – 200	23	2	
	201 – 300	15				201 – 300	15		
	301 – 400	36				301 – 400	33	2	
	401 – 500	29				401 – 500	17		
	501 – 600	37				501 – 600	37		
	601 – 700	48	8			601 – 700	46	6	
	701 – 718					701 – 717			
	0 – 718	209	8	0		0 – 717	188	10	0
594 (tyyydyttävä)	0 – 100	13	4		594 (tyyydyttävä)	0 – 100	27	2	
	101 – 200	25				101 – 200	22		
	201 – 300	40				201 – 300	36	4	
	301 – 400	25	3			301 – 400	12	4	
	401 – 500	18				401 – 500	30		
	501 – 600	25				501 – 600	23		
	601 – 700	15	2			601 – 700	15		
	701 – 800	6				701 – 800	9		
	801 – 900	30	3			801 – 900	41	3	
	901 – 1000	4				901 – 1000	7		
1001 – 1015				1001 – 1014					
0 – 1015	201	12	0	0 – 1014	222	13	0		
595 (epä- tyyydyttävä)	0 – 100	18			595 (epä- tyyydyttävä)	0 – 100	20	5	
	101 – 200	18				101 – 200	8		
	201 – 300	16				201 – 300	12		
	301 – 400	20				301 – 400	11		
	401 – 500	45	16			401 – 500	39		17
	501 – 600	30	5			501 – 600	46	4	
	601 – 700	20	7			601 – 700	33	10	
	701 – 800	11				701 – 800	21		
	801 – 900	22	5			801 – 900	26	3	
	901 – 1000	16	2			901 – 1000	10	2	
0 – 1000	216	35	0	0 – 1000	226	24	17		
596 (hyvä)	0 – 100	5			596 (tyyydyttävä)	0 – 100	3		
	101 – 200	12				101 – 200	19		
	201 – 300	17				201 – 300	28	2	
	301 – 400	8				301 – 400	8		
	401 – 500	7				401 – 500	12	2	
	501 – 600	32	5			501 – 600	38	9	
	601 – 700	11				601 – 700	13		
	701 – 800	5				701 – 800	17		
801 – 900	7			801 – 900	7				

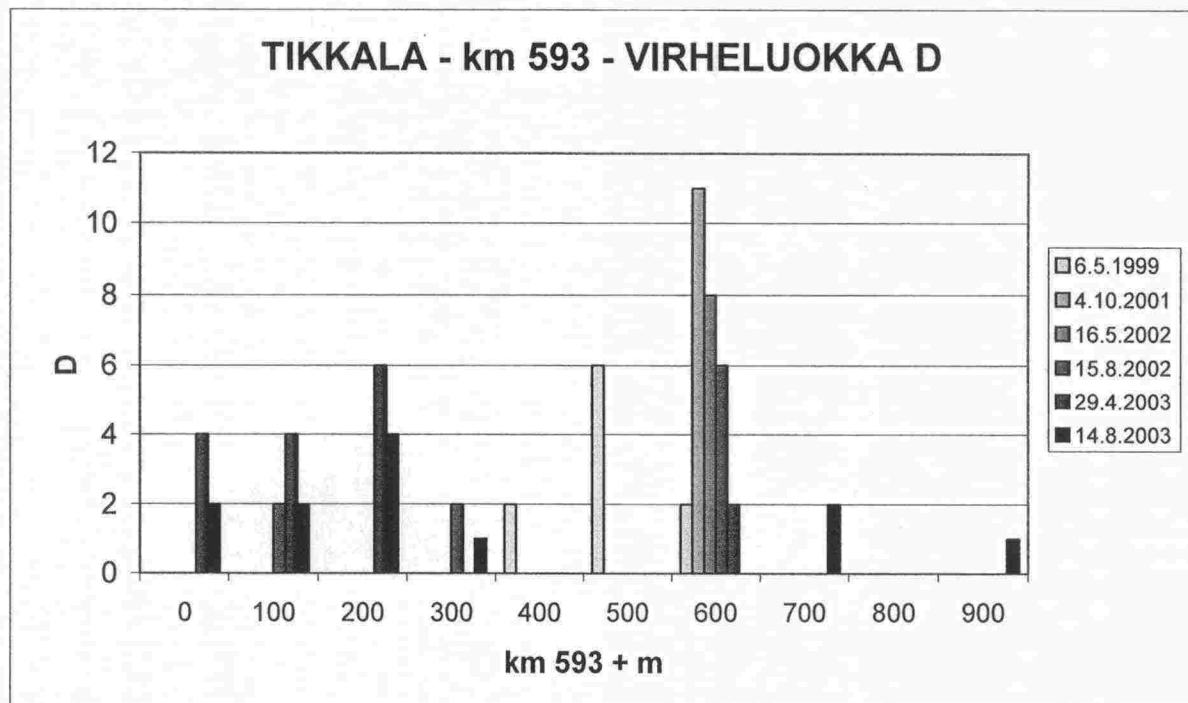
LIITE 2 sivu 4 (6)

	901 – 1000	27	2			901 – 1000	28		4	
	<i>0 – 1000</i>	<i>131</i>	<i>7</i>	<i>0</i>		<i>0 – 1000</i>	<i>173</i>	<i>13</i>	<i>4</i>	
597 (tydyttävä)	0 – 100	29	11		597 (epä- tydyttävä)	0 – 100	36	10		
	101 – 200	29	4			101 – 200	35	6		
	201 – 300	29				201 – 300	27			
	301 – 400	8				301 – 400	11			
	401 – 500	2				401 – 500	4			
	501 – 600	19				501 – 600	13			
	601 – 700	49	2			601 – 700	52	19		
	701 – 800	12				701 – 800	23			
	801 – 900	19				801 – 900	30			
	901 – 1000	52	2			901 – 999	54		3	
	1001 – 1001					-				
	<i>0 – 1001</i>	<i>248</i>	<i>19</i>	<i>0</i>		<i>0 – 999</i>	<i>285</i>	<i>35</i>	<i>3</i>	
	598 (tydyttävä)	0 – 100	24				598 (tydyttävä)	0 – 100	43	9
101 – 200		12			101 – 200	7				
201 – 300		30	5		201 – 300	13				
301 – 400		8			301 – 400	5				
401 – 500		1			401 – 500	10				
501 – 600		9	2		501 – 600	16		2		
601 – 700		2			601 – 700	10				
701 – 800		16			701 – 800	26		2		
801 – 900		28	4		801 – 900	18				
901 – 1000		45	13		901 – 1000	43		7		
1001 – 1001		2			1001 – 1001	2		2		
<i>0 – 1001</i>		<i>177</i>	<i>24</i>	<i>0</i>	<i>0 – 1001</i>	<i>193</i>		<i>22</i>	<i>0</i>	
599 (tydyttävä)		0 – 100	12			599 (epä- tydyttävä)		0 – 100	20	2
	101 – 200				101 – 200		2			
	201 – 300	24	6		201 – 300		26	9		
	301 – 400	12			301 – 400		31	4		
	401 – 500	24	5		401 – 500		40		7	
	501 – 600	9			501 – 600		19			
	601 – 700				601 – 700		2			
	701 – 800	14	2		701 – 800		14	6		
	801 – 900	12	4		801 – 900		40		17	
	901 – 999	9			901 – 1000		15	3		
	<i>0 – 999</i>	<i>116</i>	<i>17</i>	<i>0</i>	<i>0 – 1000</i>		<i>209</i>	<i>24</i>	<i>24</i>	

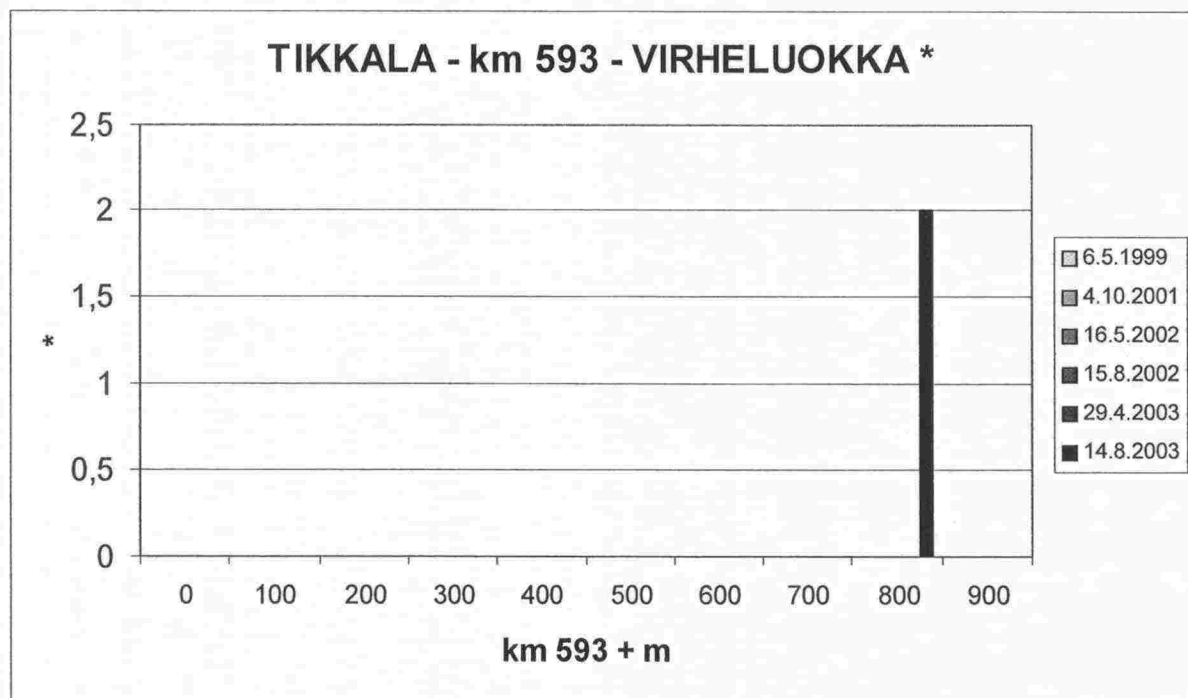
Taulukko L2:3 Tikkalan kohdalla olevan rataosan radantarkastustulokset, eli C, D ja *-luokkien virheiden määrät (29.4.2003 ja 14.8.2003).

TIKKALA									
29.4.2003					14.8.2003				
Väli		TOTAL			Väli		TOTAL		
Km	m	C	D	*	Km	m	C	D	*
593 (tyydyttävä)	0 – 100	27	4		593 (tyydyttävä)	0 – 100	27	2	
	101 – 200	58	4			101 – 200	24	2	
	201 – 300	21	6			201 – 300	24	4	
	301 – 400	26				301 – 400	24	1	
	401 – 500	8				401 – 500	23		
	501 – 600	45				501 – 600	11		
	601 – 700	24	2			601 – 700	28		
	701 – 717	14				701 – 800	10	2	
	-					801 – 900	42		2
	-					901 – 1000	29	1	
0 – 717	223	16	0	0 – 1000	242	14			
594 (epä- tyydyttävä)	0 – 100	12			594 (epä- tyydyttävä)	0 – 100	31	4	
	101 – 200	49	9			101 – 200	14	3	
	201 – 300	41				201 – 300	40	7	
	301 – 400	23				301 – 400	22	2	
	401 – 500	24				401 – 500	3		
	501 – 600	45	5			501 – 600	32	4	
	601 – 700	4				601 – 700	21	5	
	701 – 800	46	6			701 – 728	13	9	
	801 – 900	50	2			-			
	901 – 1000	53	9			-			
1001 – 1016	1			-					
0 – 1016	348	31	0	0 – 728	176	34			
595 (epä- tyydyttävä)	0 – 100	14	2		595 (tyydyttävä)	0 – 100	12	4	
	101 – 200	21				101 – 200	8		
	201 – 300	25				201 – 300	31	1	
	301 – 400	54		8		301 – 400	37	7	
	401 – 500	40	5			401 – 500	45	2	
	501 – 600	37	4			501 – 600	30	2	
	601 – 700	43		7		601 – 700	24	4	
	701 – 800	55	5			701 – 800	15		
	801 – 900	31	2			801 – 900	4		
	901 – 999	12	3			901 – 1000	10		
0 – 999	332	21	15	0 – 1000	216	20			
596 (tyydyttävä)	0 – 100	21	2		596 (epä- tyydyttävä)	0 – 100	3		
	101 – 200	2				101 – 200	21	6	
	201 – 300	6				201 – 300	66	43	
	301 – 400	16				301 – 400	46	19	
	401 – 500	57	19			401 – 500	9	4	
	501 – 600	16				501 – 600	5		
601 – 700	2			601 – 700	3				

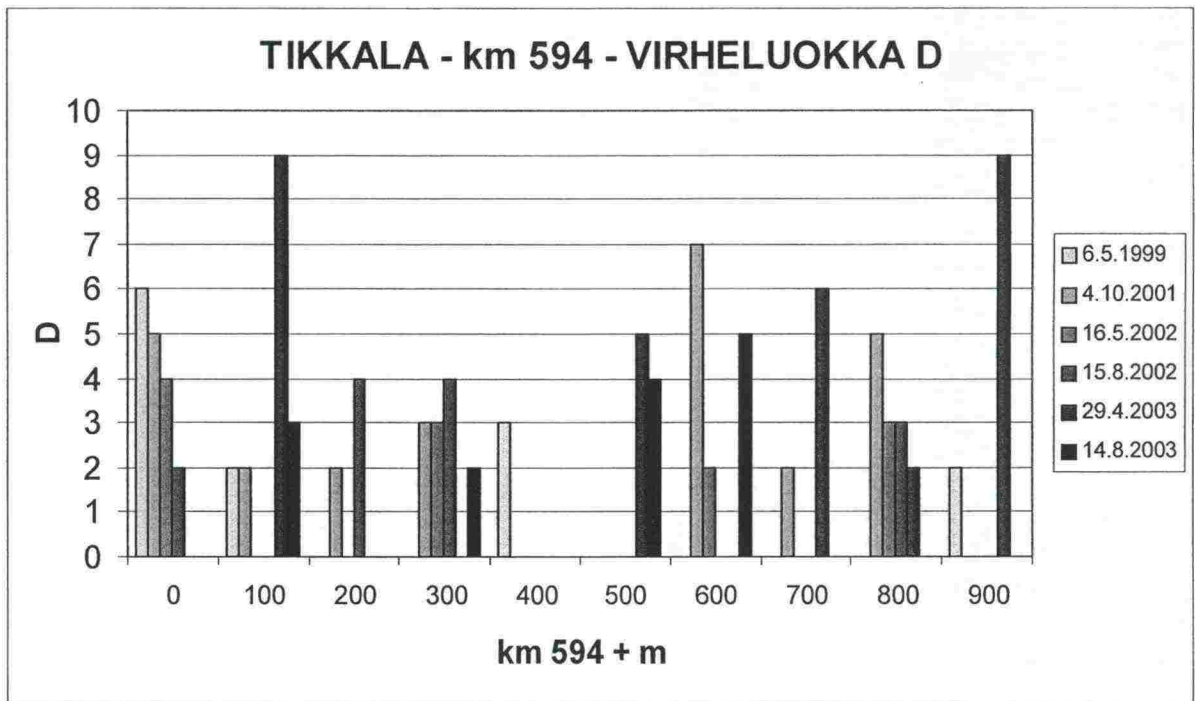
	701 – 800	25				701 – 800	3				
	801 – 900	12				801 – 900	2				
	901 – 1000	8				901 – 1000	11	1			
	1000 – 1001					-					
	<i>0 – 1001</i>	<i>165</i>	<i>21</i>	<i>0</i>		<i>0 – 1000</i>	<i>169</i>	<i>73</i>			
597 (epä- tydyttävä)	0 – 100	53	9		597 (tydyttävä)	0 – 100	21	6			
	101 – 200	36	7			101 – 200	39	7			
	201 – 300	13				201 – 300	10				
	301 – 400	46		24		301 – 400	5				
	401 – 500	47	2			401 – 500	3				
	501 – 600					501 – 600	3				
	601 – 700					601 – 700	1				
	701 – 800	6				701 – 800	12				
	801 – 900	23				801 – 900	7				
	901 – 1000	36	8			901 – 1000	29	8			
	1001 – 1001					-					
	<i>0 – 1001</i>	<i>260</i>	<i>26</i>	<i>24</i>		<i>0 – 1000</i>	<i>130</i>	<i>21</i>			
	598 (epä- tydyttävä)	0 – 100	4				598 (tydyttävä)	0 – 100	18	3	
101 – 200		22	7		101 – 200	1					
201 – 300		52	13		201 – 300	2					
301 – 400		17	2		301 – 400	12		1			
401 – 500		40		17	401 – 500	1					
501 – 600		17	16		501 – 600	9		2			
601 – 700		46		13	601 – 700	7		2			
701 – 800		52	12		701 – 800	6					
801 – 900		58	2		801 – 900	9		3			
901 – 1000		27	3		901 – 1000	13		1			
<i>0 – 1000</i>		<i>335</i>	<i>55</i>	<i>30</i>	<i>0 – 1000</i>	<i>78</i>		<i>12</i>	<i>0</i>		
599 (epä- tydyttävä)		0 – 100	39	19		599 (hyvä)		0 – 100	10		
		101 – 200	27		5			101 – 200	8	1	
	201 – 300	39	16		201 – 300						
	301 – 400	48	16		301 – 400						
	401 – 500	51		18	401 – 500		11				
	501 – 600	65		12	501 – 600		9				
	601 – 700	56	12		601 – 700						
	701 – 800	53	10		701 – 800		8	4			
	801 – 900				801 – 900		8	3			
	901 – 1000	18			901 – 1000						
	<i>0 – 1000</i>	<i>396</i>	<i>73</i>	<i>35</i>	<i>0 – 1000</i>		<i>54</i>	<i>8</i>	<i>0</i>		



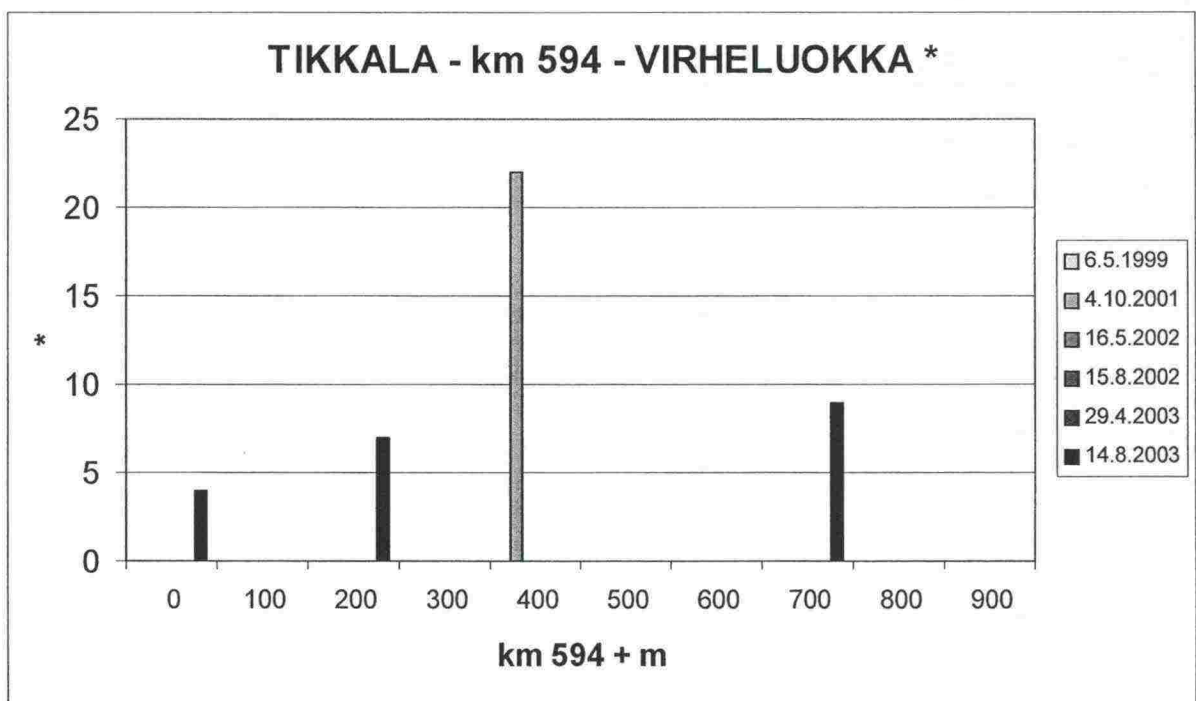
Kuva L3:1 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka D (km 593, sadan metrin välein).



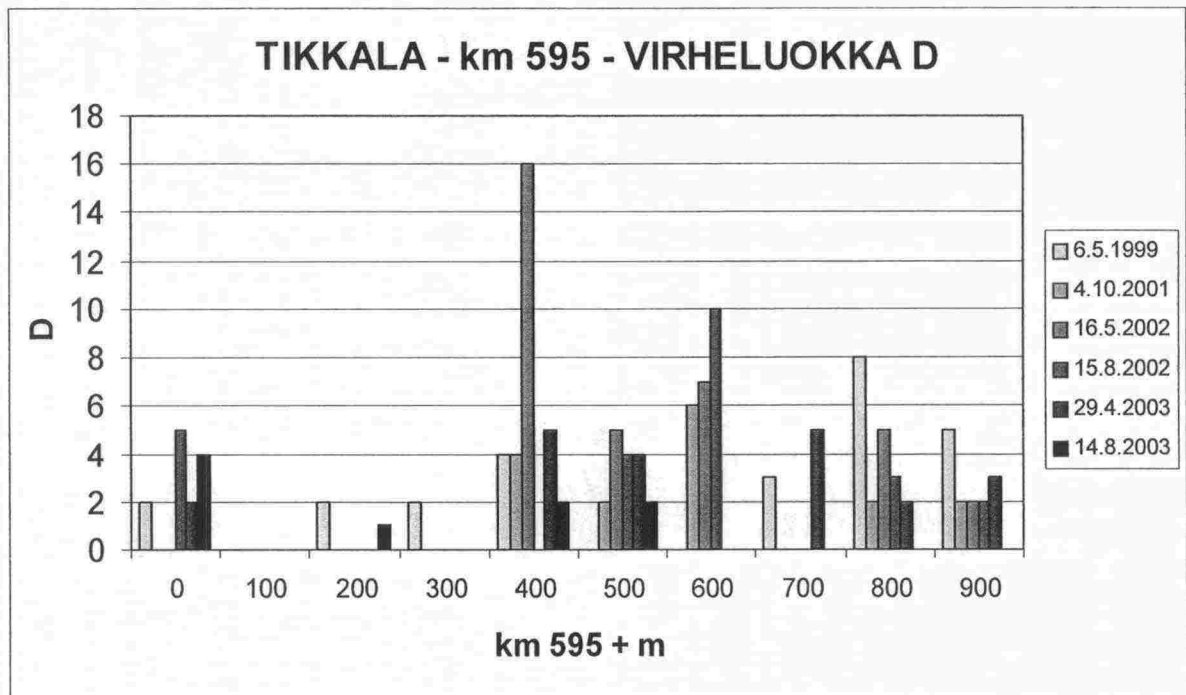
Kuva L3:2 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka * (km 593, sadan metrin välein).



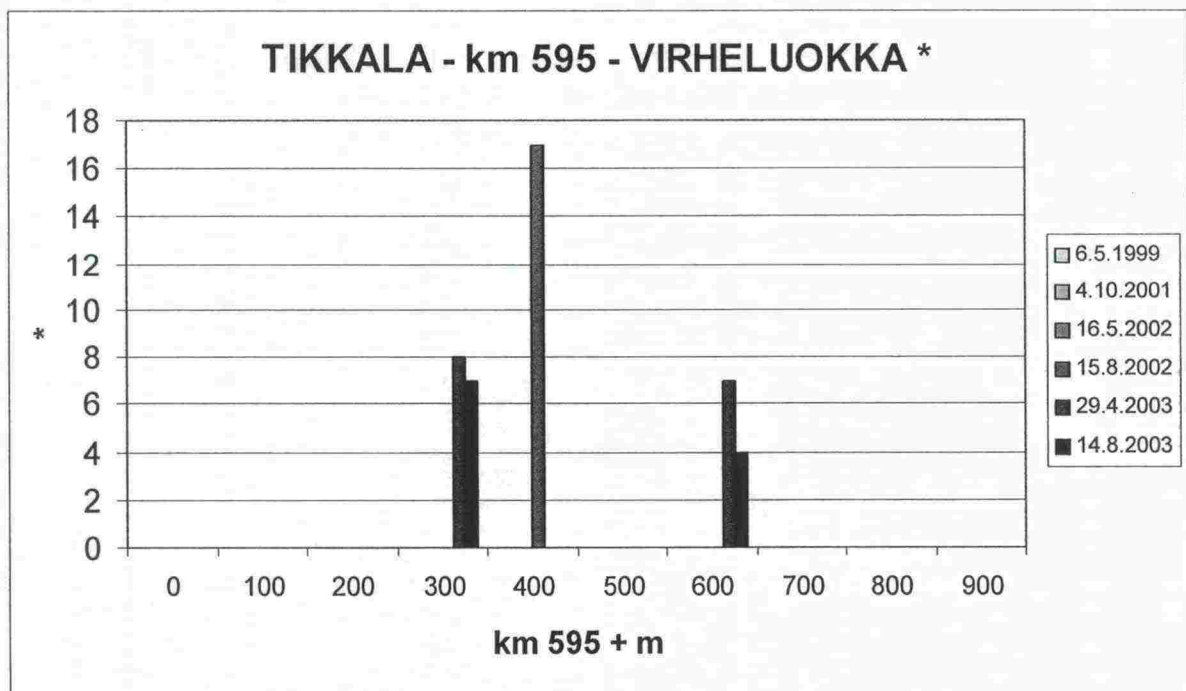
Kuva L3:3 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka D (km 594, sadan metrin välein).



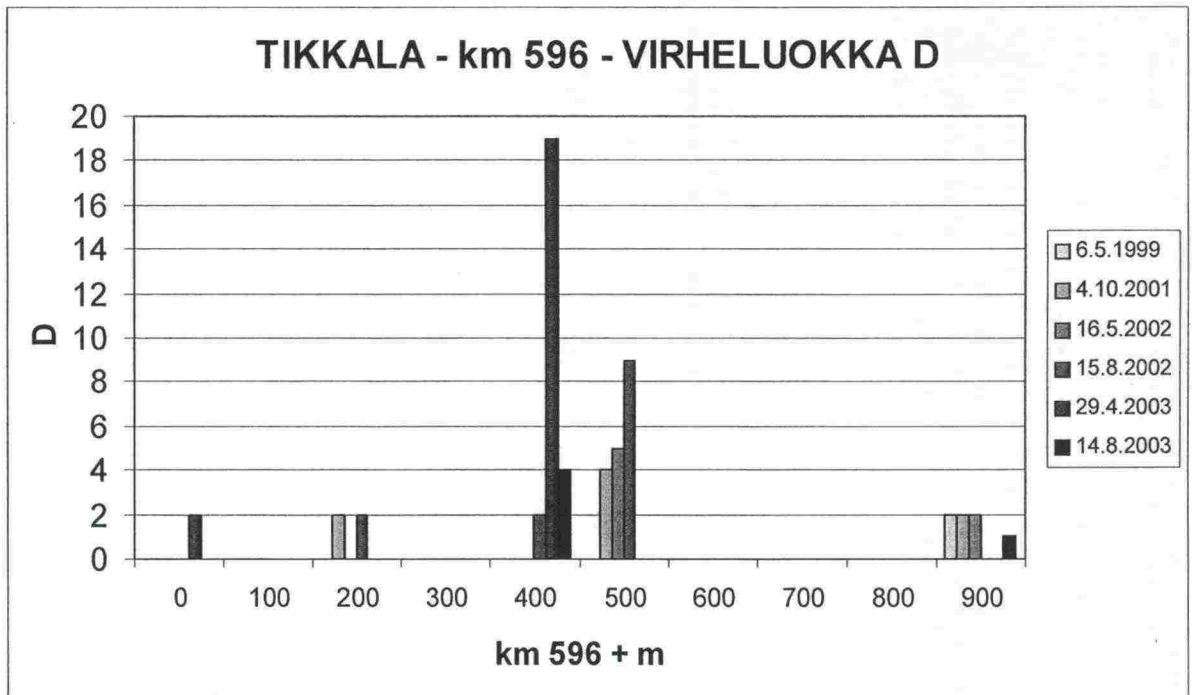
Kuva L3:4 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka * (km 594, sadan metrin välein).



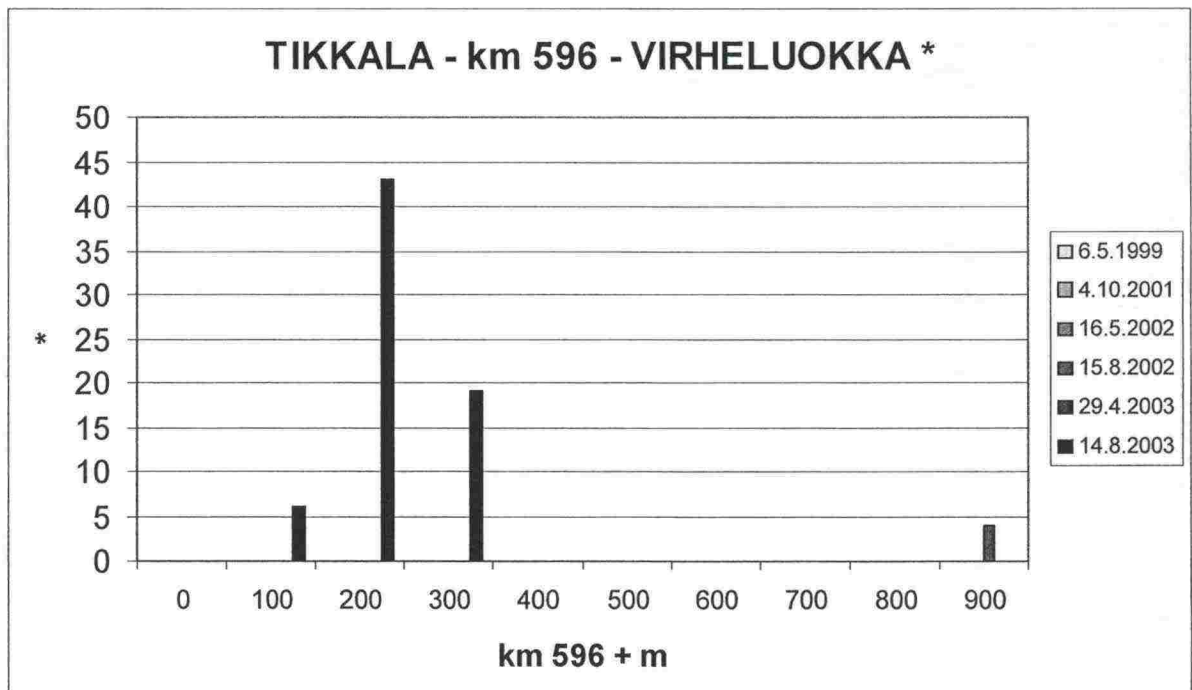
Kuva L3:5 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka D (km 595, sadan metrin välein).



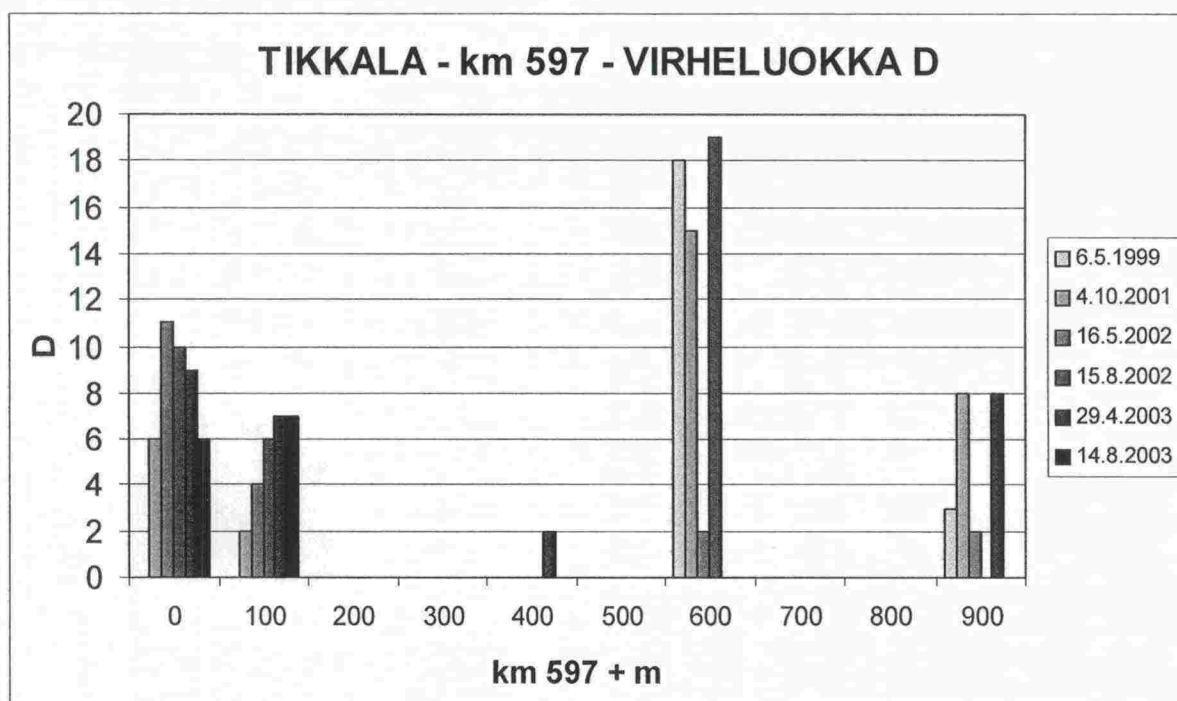
Kuva L3:6 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka * (km 595, sadan metrin välein).



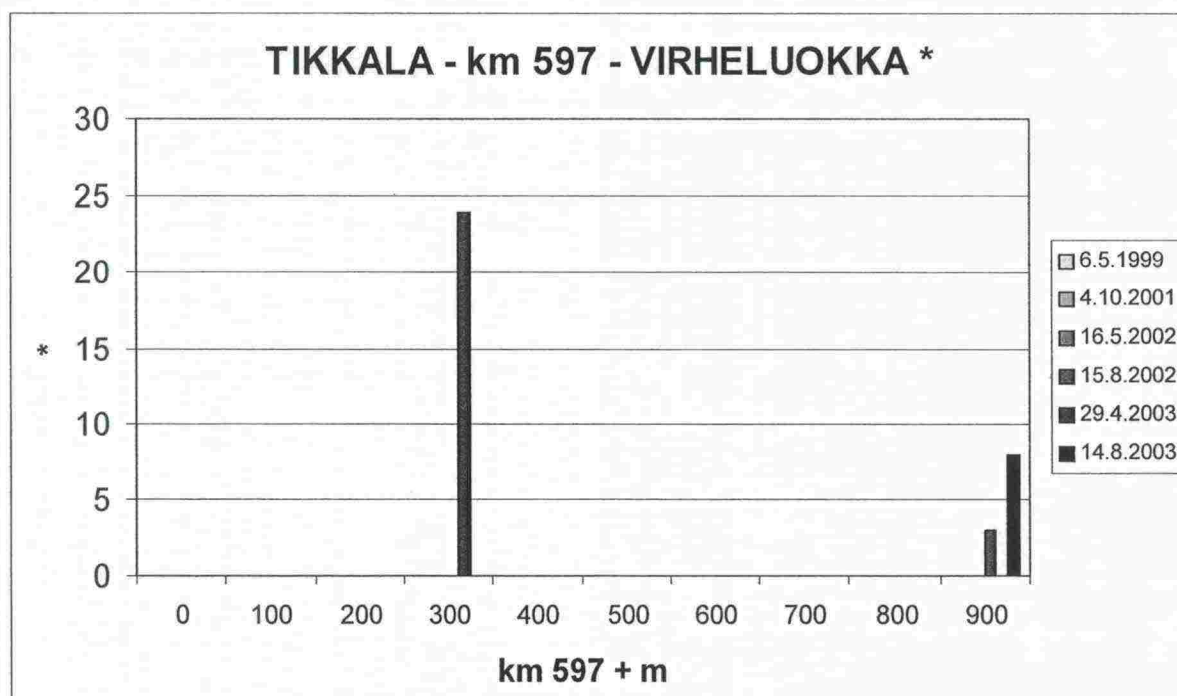
Kuva L3:7 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka D (km 596, sadan metrin välein).



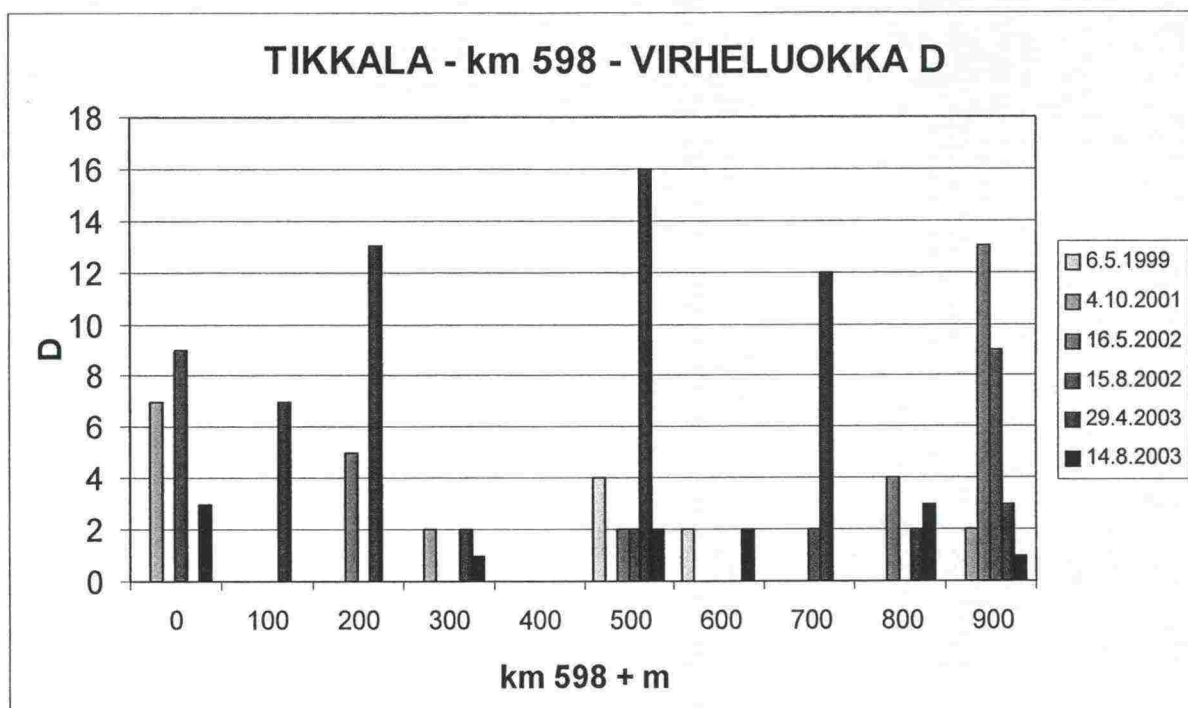
Kuva L3:8 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka * (km 596, sadan metrin välein).



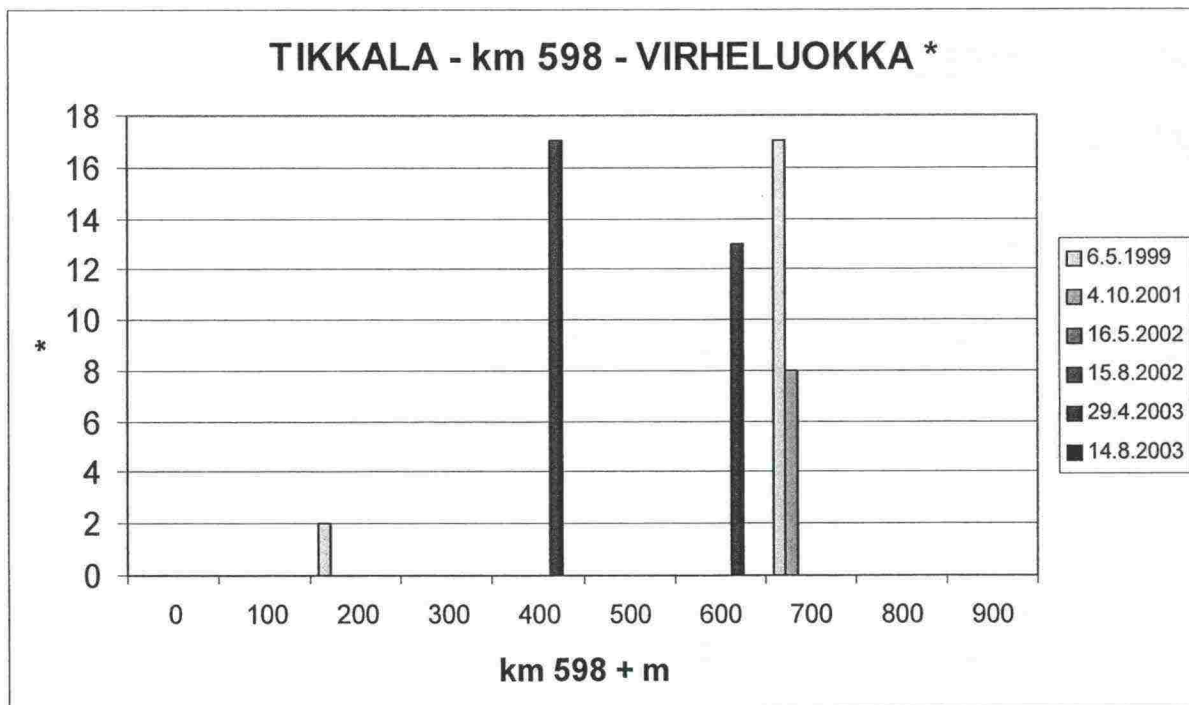
Kuva L3:9 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka D (km 597, sadan metrin välein).



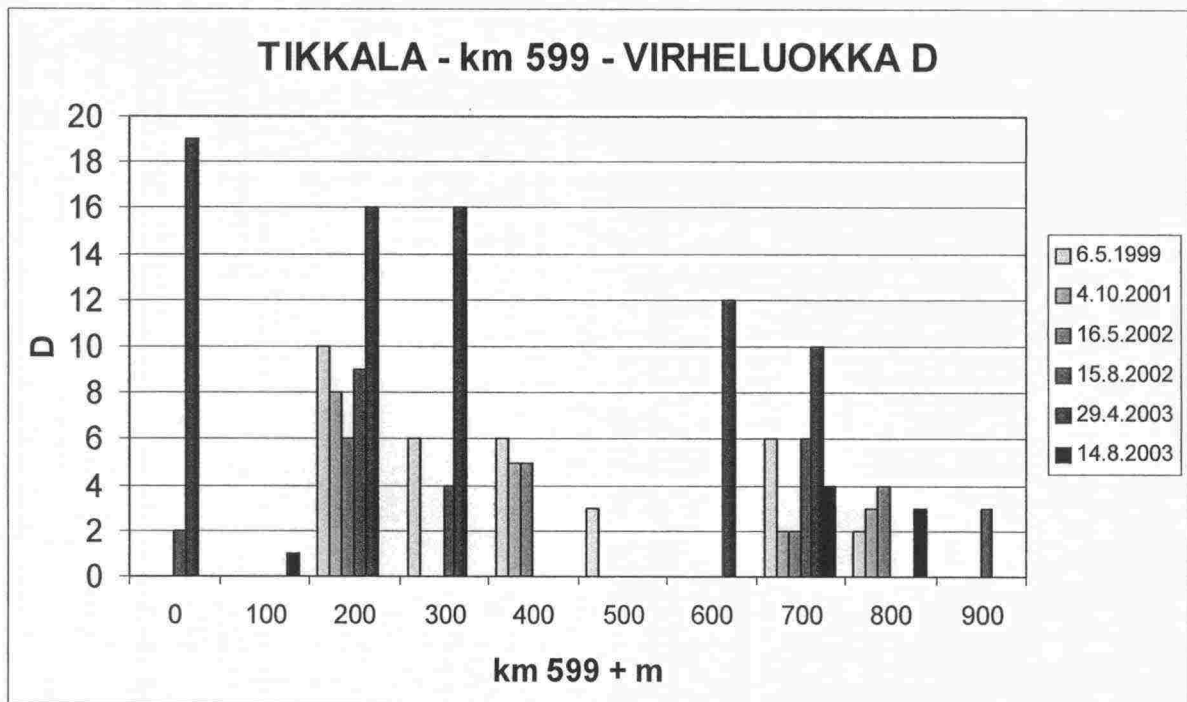
Kuva L3:10 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka * (km 597, sadan metrin välein).



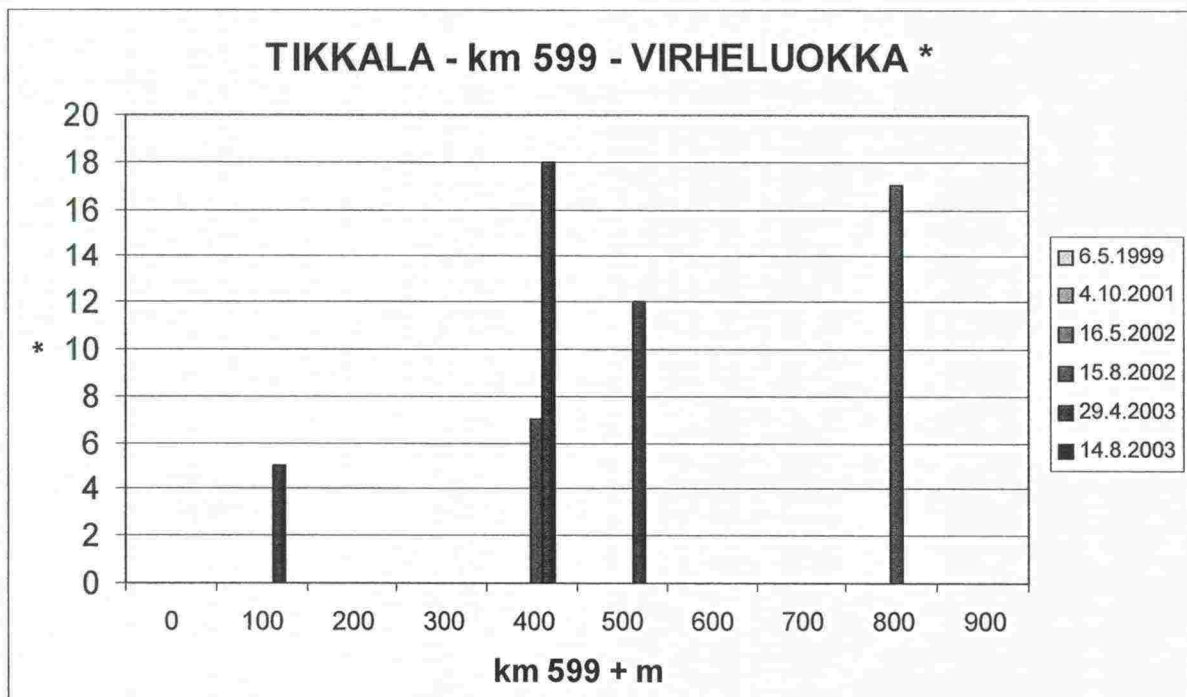
Kuva L3:11 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka D (km 598, sadan metrin välein).



Kuva L3:12 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka * (km 598, sadan metrin välein).



Kuva L3:13 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka D (km 599, sadan metrin välein).



Kuva L3:14 Tikkalan radantarkastustulokset, virheluokka * (km 599, sadan metrin välein).

- 1/2000 Rataverkko 2020 -ohjelman väliraportti
- 2/2000 Bantrummor, 250 kN och 300 kN axellaster
- 3/2000 Liikkuvan kaluston kirjallisuustutkimus
- 4/2000 Raideseppelin lujuuden vaikutus tukikerroksen kestoikään
- 5/2000 Ratarakenteen instrumentointi ja mallinnus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- 6/2000 Väliraportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen ratateknisistä tutkimuksista
- 7/2000 Intermediate Report, 250 kN and 300 kN axle loads
- 8/2000 Ratatekniset määräykset ja ohjeet -julkaisun käytettävyyttutkimus
- 9/2000 Ratakapasiteetin perusteet
- 10/2000 Instrumentation and Modelling of Track Structure, 250 kN and 300 kN axle loads
- 11/2000 Rautatieonnettomuuksien sisäiset ja ulkoiset kustannukset
- 12/2000 Internal and External Costs of Railway Accidents
- 1/2001 Rataverkko 2020 -suunnitelma
- 2/2001 XPS-routaeristelevyit ratarakenteessa, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- 3/2001 Raidetutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- 4/2001 Radan kunnossapitokustannusten kirjallisuustutkimus
- 5/2001 Loppuraportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen teknisistä ominaisuuksista
- 6/2001 Final Report, 250 kN and 300 kN axle loads
- 7/2001 Rautateiden maanvaraiset pylväsperustukset
- 8/2001 Ratarumpututkimus. Instrumentointi ja mittaukset
- 9/2001 Verkkoaikataulu junaliikenteen ja rautatieinfrastruktuurin kehittämisestä
- 10/2001 Työnaikaisten ratakaivantojen tukeminen
- 11/2001 Pääkaupunkiseudun rautateiden meluntorjuntaohjelma vuosille 2001 – 2020
- 12/2001 Rautatietasoristeysten turvaaminen
- 13/2001 Rautatieliikenteen riskit ja turvaamistoimenpiteet, osat 1 ja 2
- 14/2001 Rautatieliikenteen valtakunnallinen meluselvitys
- 1/2002 Ratarakenteen routasuojaus
- 3/2002 Rautatietasoristeysten turvaamis- ja poistostrategia 2020
- 4/2002 Rautateiden maanvaraiset pylväsperustukset, lisensiaatintutkimus
- 5/2002 Raiteentarkastus ja siinä ilmenevien virheiden analysointi välillä Kirkkonummi–Turku
- 6/2002 Kerava–Lahti-oikoradan sosiaalisten vaikutusten arviointi
- 7/2002 Rataverkon tavaraliikenne-ennuste 2025
- 8/2002 Puomillisten tasoristeysten turvallisuus
- 9/2002 Vartioimattomien tasoristeysten turvallisuus
- 10/2002 Ratarumpututkimus, mallinnus
- 1/2003 Katsaus Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämistoimintaan
- 2/2003 Instrumentation and Modelling of Railway Culverts
- 3/2003 Rautatieliikenteen onnettomuuksien ja vaaratilanteiden raportoinnin kehittäminen
- 4/2003 Henkilöliikenneasemien esteettömyyskartoituksen tuloksia
- 1/2004 Tavaraliikenteen ratapihavisio- ja strategia 2025
- 2/2004 Rautateiden kaukoliikenteen asemien palvelutaso ja kehittämistarpeet
- 3/2004 Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannukset
- 4/2004 Murskatun kalliokiviaineksen hienoneminen ja routivuus radan rakennekerroksissa
- 5/2004 Radan kulumisen rajakustannukset vuosina 1997 - 2002
- 6/2004 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997 – 2002
- 7/2004 Ratakapasiteetin jakamisen vaatimukset ja liikenteen suunnittelun nykytila