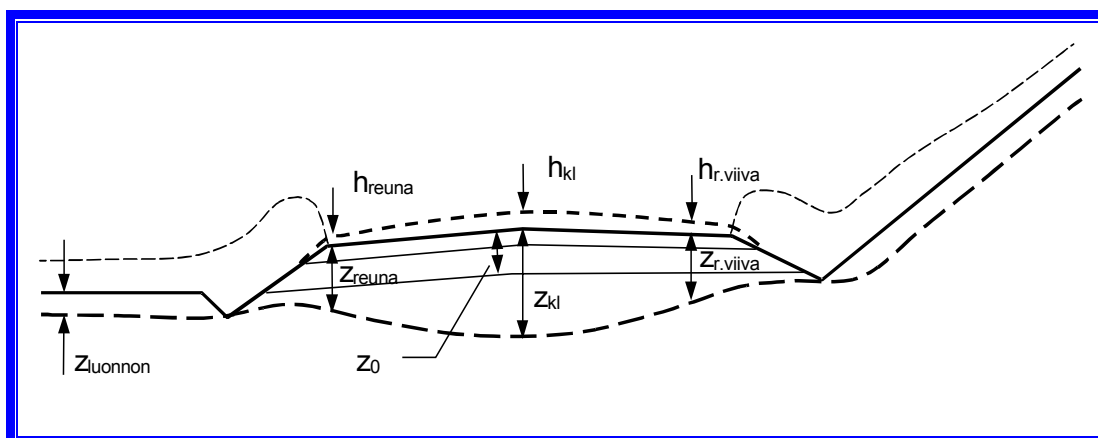


ROUTANOUSUN JA PAINUMAN MITTAUS



Heikki Onninen

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Alkusanat

Tien pohja- ja päällysrakenteet –tutkimusohjelman (TPPT) lopputulosten tavoitteena on ennistä kestävämpien uusien ja perusparannettavien kestopäällystettyjen teiden rakentaminen siten, että myös rakenteiden vuosikustannukset alenevat. TPPT-ohjelmassa kehitettiin tie-rakenteiden mitoitusta (TPPT-suunnittelujärjestelmä). Suunnittelujärjestelmään kuuluvissa mitoitushjeissa ja menetelmäkuvaauksissa esitetään ne menettelytavat ja keinot, joita käytäen tierakenne voidaan kohdekohtaisesti suunnitella ja mitoittaa. TPPT-suunnittelujärjestelmään sisältyy myös päällysrakenteen elinkaarikustannustarkastelu, jonka suorittamiseksi esitetään menettelytapa.

Suunnittelujärjestelmälle on ominaista, että tierakenteen mitoitustapahtuu paikkakohtaisilla tiedoilla ja parametreilla (liikenne, ilmasto, pohjamaa, käytettävät rakennemateriaalit, vanhat rakenteet). Mitoituksessa käytettävien pohjamaata ja rakennemateriaaleja koskevien parametrien määrittäminen tapahtuu ensisijaisesti laboratoriokokeilla tai maastossa tehtävin mittauksin ja tutkimuksin. Myös muiden mitoituksessa tarpeellisten lähtötietojen hankinnassa ja ongelmakohtien tai muutoskohtien paikannuksessa käytetään maastossa ja tiellä tehtäviä havaintoja ja mittauksia.

Suunnittelujärjestelmään kuuluvat oleellisena osana sitä täydentävät suunnittelun ja mitoituksen lähtötietojen hankintaa käsittelevät ”menetelmäkuvaaukset”. Esitettävät menetelmät ja menettelytavat on todettu käyttökelpoisiksi käytännön havaintojen ja kokeiden perusteella.

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

Tämän ”Routanousun ja painuman mittaus” menetelmäkuvaauksen on laatinut Heikki Onnen VTT Rakennus- ja höyskuntatekniikasta. Geodeettisten mittausten osalta on saatu asiantuntija-apua Tielaitoksen Etelä-Suomen paikkatietopalveluista. Menetelmäkuvaauksen sisältö on käyty läpi yhdessä tielaitoksen asiantuntijoiden kanssa.

Joulukuussa 2001

Markku Tamminne

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	3
2	MITTAUSKALUSTOT JA VALMISTELUT.....	5
2.1	Korkeusaseman mittaaminen	5
2.2	Routanousun ja painuman GPS-mittausten erityispiirteitä	5
2.3	Muut laitteet ja tarvikkeet.....	7
2.4	Kiintopisteiden valinta ja rakentaminen.....	7
3	ROUTANOUSU- JA SULAMISPAINUMAMITTAUKSET	8
3.1	Mittausten periaate	8
3.2	Routanousumittausten tarkoitus	8
3.3	Sulamispainumamittausten tarkoitus	9
3.4	Routanousumittausten ajoitus	10
3.5	Sulamispainumamittausten ajoitus	10
3.6	Mittausten suoritus	11
3.7	Tulosten esittäminen	13
4	PAINUMAMITTAUKSET	17
4.1	Mittausten periaate	17
4.2	Painumamittausten tarkoitus	17
4.3	Painumamittausten ajoitus	18
4.4	Mittausten suoritus	19
4.5	Tulosten esittäminen	20
5	VIITTEET.....	21

1 JOHDANTO

Tässä menetelmäkuvauksessa selostetaan routanousun ja painuman suuruuden määrittäminen tien pinnan korkeushavaintojen avulla, kun korkeushavainnot tehdään vaaitsemalla, takymetrimittauksin tai satelliittimittauksiin (GPS) perustuen. Mittausten suoritusta ei tässä yhteydessä kuvata yksityiskohtaisesti ja kattavasti. Tarkoituksena on antaa käsitys mittausten tavoitteista ja periaatteista.

Routanousu- ja painumamittausten tuloksia on tähän asti käytetty lähinnä tien korjaustoimenpiteiden rajaukseen. TPPT-suunnittelujärjestelmässä tuloksia hyödynnetään monipuolisemmin ja tehokkaammin mm. parannettavan tien mitoituksessa tarvittavien parametrien määrittämisessä (TPPT Raportti "Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma.TPPT-suunnittelujärjestelmän kuvaus") ja yleisesti myös tienpidon ohjelmoinnin apuvälineenä. Tämä asettaa suurempia vaatimuksia mittausten suorittamiselle. Routanousun ja painuman mittaajien on tiedostettava se, että mittausten luotettavuuden ja tarkkuuden tulee olla hyvä, koska muuten tulosten tulkinta saattaa olla harhaanjohtavaa tai jopa mahdotonta. Käytännön töissä on usein käynyt niin, että mittaustuloksia on jouduttu jälkikäteen tulkitsemaan ja selvittämään, mikä ristiriitaisista tuloksista olisi todennäköisimmin oikea.

Määritelmiä

Routanousumittauksissa ja painumamittauksissa on kyse tienpinnan tarkan sijainnin (tasosijainnin ja korkeusaseman) määrittämisestä eri ajankohtina. Näille mittauksille käytetään myös nimityksiä deformaatio- eli muodonmuutosmittaukset ja seurantamittaukset. Tässä esityksessä käytetään termiä mittaus (korkeusaseman ja/tai tasosijainnin) ja myös termiä vaaitus, jolla tarkoitetaan pelkän korkeusaseman määrittäystä vaaituskojeella.

Alkumittaus eli nollamittaus on routa- ja painumahavaintojen alkutilaa kuvaava mittaus (routimaton tai painumaton tila). Nimitys on osin harhaanjohtava, sillä routamittausten "alkumittaus" voidaan tehdä havaintotalven jälkeenkin, kun routa on taas sulanut.

Seurantamittaus eli routamittaus tahi painumamittaus on routinutta tai painunutta tilaa kuvaava mittaus, joita yleensä tehdään useita eri ajankohtina. Vertaamalla seurantamittauksen tulosta alkumittaukseen saadaan routanousu tai painuma.

Routa- ja painumamittauspisteen sijaintia kuvaa tasosijainti ja korkeussijainti ("tarkasti" paikallisessa kohdekohtaisessa järjestelmässä, mutta sidonta valtakunnalliseen järjestelmään voi olla hieman "epätarkempi").

Tasosijainti on mittauspisteen paikka jossakin sovitussa ja määritetyssä karttaprojektiojärjestelmässä. Routa- ja painumamittauspisteiden tasosijainnin tarkka määrittäminen jossakin karttaprojektiossa ei ole ensisijaisen tärkeää. Sen sijaan on tärkeää, että eri ajankohtina mitataan saman pisteen korkeusasemaa (esimerkiksi tien pintaan merkittyä tien pinnan pistettä).

Korkeussijainti on mittauspisteen korkeus jossakin sovitussa ja määritetyssä korkeusjärjestelmässä. Routa- ja painumamittauspisteiden korkeusaseman muutoksen määrittämisessä on tärkeää tietyn (merkityn) pisteen korkeusaseman tarkka mittaus kohdekohtaisessa korkeusjärjestelmässä, jolla on pysyviä referenssipisteitä maastossa.

Painumalla tarkoitetaan pohjamaan kokoonpuristumisesta ja/tai sivusiirtymistä johtuvaa tien pinnan palautumatonta alaspäin siirtymistä. Painuma on kahden sulan tilan aikana tehdyn korkeusmittauksen erotus. Tavallisesti painumista tapahtuu pehmeille pohjamaalle, kuten savelle, liejulle tai turpeelle rakennetuilla teillä. Painumista tapahtuu läpi vuoden. Painumalle alttiit pohjamaat ovat myös routivia, joten painumamittauksia ei voida tehdä talvisin.

Routanousua aiheutuu maassa olevan veden jäätymisestä ja routarintamaan tulevan lisäveden jäätymisestä eli varsinaisesta routimisesta, jolloin routarintamaan imeytyy vettä alemmista maakerroksista tai sivulta päin. Routimisen yhteydessä maahan voi muodostua paksumakin jäälinsejä, joiden vaikutuksesta maan pinta nousee. Jos tien rakennekerrokset ovat routimattomia, tien routanousu aiheutuu pohjamaan routimisesta.

Sulamispainumalla tarkoitetaan talven aikana tapahtuneen routanousun palautumista roudan sulaessa. Sulamispainuma on yleensä saman suuruinen kuin edeltävän talven routanousu eli routanousu palautuu täysin. Rumpujen ja pohjamaan kivien routanousu ei aina täysin palaudu, jolloin syntyy kumulatiivista (kasaantuvaa) routanousua.

Roudalla tarkoitetaan maan huokosveden jäätyksen johdosta kovettunutta (jäätynyttä) maakerrosta. Maan huokosveden otaksutaan jäätyvän noin 0 °C:n lämpötilassa.

Routaantumisella tarkoitetaan maan jäätymistä eli routarajan tunkeutumista vähitellen syvemmälle.

Routaraja tai routarintama on routaantuneen kerroksen alapinta. Roudan syvyydellä tarkoitetaan roudan alapinnan (routarintaman) etäisyyttä maan- tai tienpinnasta eli routaantuneen kerroksen paksuutta. Mahdollinen routanousu sisältyy roudansyvyysarvoon.

Sulamissyvyydellä tarkoitetaan vastaavasti routakerroksen yläpinnan etäisyyttä maanpinnasta eli sulaneen kerroksen paksuutta. Mahdollinen sulamispainuma (sulamiskon-solidaatio) pienentää sulaneen kerroksen paksuutta verrattuna sen paksuuteen jäätyneessä tilassa.

Mittauslinja on tässä esityksessä yleensä tien pituussuuntainen viiva tai pistejono, jota pitkin tien pinnan korkeusmittaukset mittaukset tehdään.

Paalulukema on suunnitelman mukaisen tien mittauslinjan vaakasuoran pituuden mitta.

Matkalukema on olemassa olevan tien pintaa pitkin mitattu matka, johon vaikuttavat tien mäkisyys ja kaarteisuus. Tien keskimääräisestä pituuskaltevuudesta (esim. 1 - 5 %) riippuen matkalukema on noin 0.05 - 1.25 metriä/km suurempi kuin paalulukema, jos alkupiste ja mittauslinjan on tasosijainti ovat samat. Matkalukema ei ole tarkasti sama, jos matka mitataan vastakkaisiin suuntiin ajaen tien ajokaistaa pitkin.

Matkalukema GPS-mittauksessa (GPS-matkalukema) on periaatteessa sama kuin paalulukema, jos mittauksen alkupiste ja mittauslinjan tasosijainti ovat samat. GPS-matkalukema on mittauspisteiden vaakasuuntaisten etäisyyksien summa, sillä z-koordinaattia ei oteta huomioon matkalukemaa laskettaessa korkeusmittauksen häiriöherkkyydestä ja epätarkkuudesta johtuen.

2 MITTAUSKALUSTOT JA VALMISTELUT

2.1 Korkeusaseman mittaaminen

Tien routanousu- ja painumamittauksiin soveltuvat tavanomaiset korkeustason mittaamiseen käytettävät laitteet, joilla voidaan käytännöllisesti sekä nopeasti ja riittävän tarkasti mitata suuren pistejoukon korkeuksia. Yleensä mittaukset tehdään tiehen ennakoon merkittyjen pisteiden kohdalta. Pisteiden tasosijainnin uudelleen mittausta ei siis välttämättä tarvita, jos tuloksia käytetään vain painuman tai routanousun määrittämiseen.

Soveltuvia korkeusaseman mittauslaitteita ovat mm. vaaituskoje, tarkkavaaituskoje, takymetri, robottitakymetri sekä tarkkuusvaatimukset mahdollisimman hyvin täyttävä GPS-laitteisto (satelliittimittaus). Mittauksissa käytettävän vaaitus- ja/tai mittauskaluston pitää olla luotettava ja tarkistettu normaalin, laitekohtaisen käytännön mukaan. Eritystapauksissa voi olla tarpeen tehdä tarkistusmittaukset vielä joka kerta ennen mittaukstyön aloitusta.

Geodeettisten mittausten laadun ja hyvyyden käsitteeksi on vakiintunut termi ”epävarmuus”, joka ilmoitetaan määritetyn sijainnin tilastollisena absoluuttisena epävarmuutena sijainnin perustana olevan referenssin suhteen (esim. ± 3 mm, 95% todennäköisyydellä) tai määritetyn sijainnin tilastollisena suhteellisena epävarmuutena sekä alueen lähtöpisteiden että muiden samaan aikaan samoihin järjestelmiin määritettyjen pisteiden sijaintien suhteen, esimerkiksi 2.5 ppm (parts per million eli millimetriä kilometrille).

Yksittäisen routa- tai painumamittauspisteen korkeusmäärittelyn epävarmuus saa enintään ± 10 mm kohdekohtaisessa eli paikallisessa korkeusjärjestelmässä.

Mittauskalusto ja mittaustapa valitaan tapauskohtaisesti siten, että asetetut vaatimukset täyttyvät. Mittauskaluston valintaan vaikuttaa myös mittaukstyön laajuus. Jos kohde on suhteellisen suppea, on tarkkavaaituskalusto suositeltavin. Tavallinen vaaituskalusto on riittävä vain, jos etäisyydet ovat niin lyhyitä, ettei kojeasemaa tarvitse vaihtaa kahta - kolmea kertaa enempää.

Vaaitsemalla korkeudet voidaan mitata luotettavasti, mutta työ on hidasta. Jos korkeuserot ovat suuria, vaaituskojetta joudutaan siirtämään usein.

Takymetrillä ja robottitakymetrillä mitattaessa saadaan samalla myös mittauspisteen tasosijainti (x- ja y-koordinaatit). Painuma- ja routamittauksissa tästä tiedosta ei ole merkittävää hyötyä, sillä mittauspisteet on yleensä tarkoituksenmukaista sijoittaa tielle tasaväleihin ja säännöllisesti. Joka tapauksessa pisteet on merkittävä esimerkiksi maalilla tiepintaan, sillä mittauspisteen etsiminen koordinaattitietojen perusteella on työlästä. Tasosijainnin sallittu poikkeama eri mittauskertojen välillä on enintään 0.1 m.

2.2 Routanousun ja painuman GPS-mittausten erityispiirteitä

Satelliittien avulla tehtävä GPS-mittaus tapahtuu liikkuvasta ajoneuvosta (GPS-ajoneuvomittaus), jolloin yksittäisten mittauspisteiden välimatka riippuu ajonopeudesta. Yksittäisiä mittauspisteitä ei ole tarkoituksenmukaista kohdistaa. Eri mittauskertojen mittauslinjat kohdistetaan tien poikkisuunnassa samaan paikkaan.

Korkeusero (routanousu tai painuma) saadaan kahden murtoviivan korkeuksien erotuksena. Korkeusero lasketaan tiheämmin mitatun mittauskerran mittauspisteiden kohdalla.

Mittauspisteiden lukumäärän lisääminen ei lisää merkittävästi mittausaikaa eikä tulosten käsittelyäkään, jos pistemäärät pysyvät kohtuullisina tulosten käsittelyyn käytettävän atk-

laitteiston tehoon nähden. Suuri pistemäärä mahdollistaa tien pinnan maastomallin laatimisen ja esimerkiksi korkeusmuutosten kolmiulotteisen kuvaamisen.



Kuva 1. Tieläiliiketoimen GPS-tiemittausauto yhdellä satelliittivastaanottimella varustettuna.

Tien routanousun ja painuman mittauksen tarkkuusvaatimukset asettavat suuret vaatimukset myös GPS-mittauslaitteistolle, mittausolosuhteille ja mittaustulosten käsittelylle. GPS-laitteiston tulee olla tähän mittaustarkoitukseen soveltuva.

GPS -mittaus ei onnistu peitteisissä olosuhteissa, joissa maaston muodot, puusto tai rakennukset varjostavat ja häiritsevät mittausantennin ja satelliittien välistä yhteyttä. Nämä kohdat on tarvittaessa mitattava muilla menetelmillä.

Hyvissä mittausolosuhteissa kestopäällysteisillä teillä on päästy 10 mm suuruusluokkaa oleviin epävarmuuksiin korkeuden määrittämisessä. Hyviä olosuhteita, joissa satelliittien asemat ovat hyvät eikä peitteisyys lainkaan häiritse satelliittiyhteyksiä, on kuitenkin pidettävä poikkeuksellisesti esiintyvinä.

Maaston peitteisyys ja/tai satelliittien huonot asemat suhteessa GPS -vastaanottimeen voivat aiheuttaa harhaisia korkeusestimaatteja, joiden epävarmuus voi olla suuruusluokkaa 50 - 100 mm (satunnaisia ja systemaattisia).

Parhaimmillaan GPS-mittauksen tarkkuus on riittävä painumien ja suurten routanousujen mittaamiseen, mutta pienten (alle 50 mm) routanousujen luotettavaan mittaamiseen korkeuden GPS:n mittaustarkkuus ei nykyisellään riitä. Mittausepä-tarkkuudesta johtuvia tulkintavaikeuksia vähennetään käyttämällä lyhyttä mittauspisteväliä (1-2 m), jolloin yksittäiset, satunnaiset mittausrvirheet ovat paremmin tunnistettavissa.

TPPT-ohjelman yhteydessä tähänastisissa kokeiluissa ei ole ollut käytettävissä ns. inertia-paikannusta, joka näyttäisi olevan GPS-mittauksien seuraava kehityssaskel. Inertia-paikannuksen avulla GPS-mittaustulos voidaan laajentaa koskemaan myös kohtuullisen pituisia katvealueita.

2.3 Muut laitteet ja tarvikkeet

Routanousu- ja painumamittauksia varten tarvitaan myös seuraavia tarvikkeita ja työkaluja:

- olemassa olevien kiintopisteiden pisteselityskortit tai muut tiedot kiintopisteistä
- laitteet ja varusteet uusien kiintopisteiden rakentamiseksi (esim. kuvan 2 mukaan)
- puupaaluja tms. mittausalueen merkitsemiseen
- maalia ja tusseja merkintöjä varten
- mittapyörä ja mittanauha
- lapio ja rautakanki
- kalusto jään poistoon mittauspisteiden kohdalta (routamittauksissa).

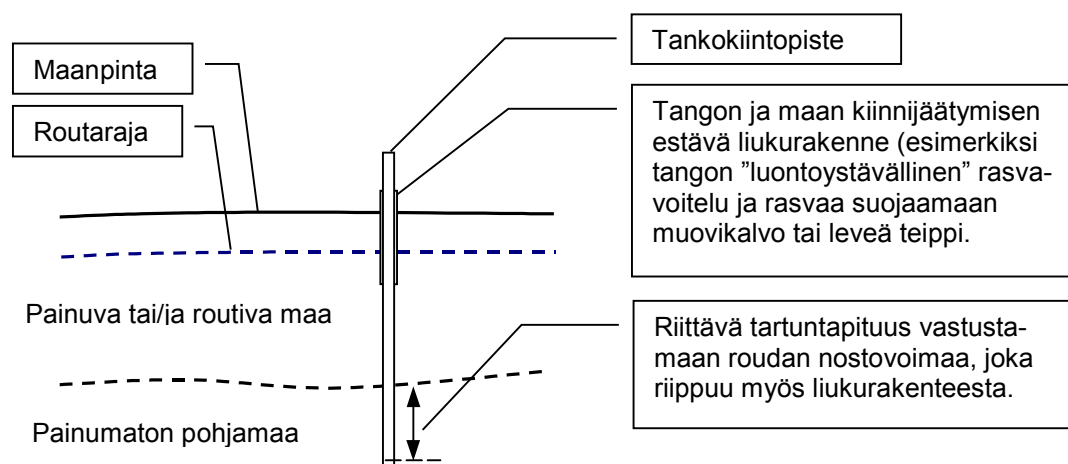
2.4 Kiintopisteiden valinta ja rakentaminen

Kaikkien käytettävien korkeuskiintopisteiden (referenssipisteiden) tulee olla ehdottomasti liikkumattomia. Routa tai maanpinnan painuminen eivät saa liikutella kiintopistettä. Vähäisenkin kiintopisteen liikkuminen aiheuttaa virheellisiä tuloksia. Sopivia kiintopisteitä ovat mm. kallio, painumattoman sillan tai lämpimän rakennuksen perustus tms.

Maakiviä ja tavallisia rumpuja routa saattaa liikutella, joten ne eivät kelpaa routanousu-mittausten kiintopisteiksi. Kiintopisteeksi ei sovellu mikään pehmeikkömaalle rakennettu piste, ellei kyseinen rakenne ole perustettu kovaan pohjaan ulottuvilla paaluilla tms. painumattomaksi. Esimerkiksi rummun pää tai tien rakentamisen yhteydessä lähelle tietä tehty monikulmiopiste saattavat painua tien mukana. Pehmeikköalueen maanpinta voi painua kauempanakin tiestä maan luonnollisesta kokoonpuristumisesta johtuen.

Tarvittaessa on rakennettava routimaton ja painumaton kiintopiste esimerkiksi syvälle sulaan maahan ulotettavasta tangosta. Roudan tarttuminen tankoon estetään sopivalla liukurakenteella ja tangon painumattomuus varmistetaan riittävän lujalla tartunnalla painumatto-maan pohjamaahan (kuva 2). Tangon asennus tehdään liukurakennetta suojaavaa putkea käyttäen.

Kuvan 2 mukainen kiintopiste ei sovellu pitkäaikaisiin seurantamittauksiin, vaan niissä on käytettävä luotettavampaa kiintopistettä, josta korkeustieto siirretään esimerkiksi vuoden välein mittauskohteen väliaikaiselle kiintopisteelle edestakaisena vaaituksena.



Kuva 2. Väliaikainen tankokiintopiste routa- ja painumamittauksia varten.

3 ROUTANOUSU- JA SULAMISPAINUMAMITTAUKSET

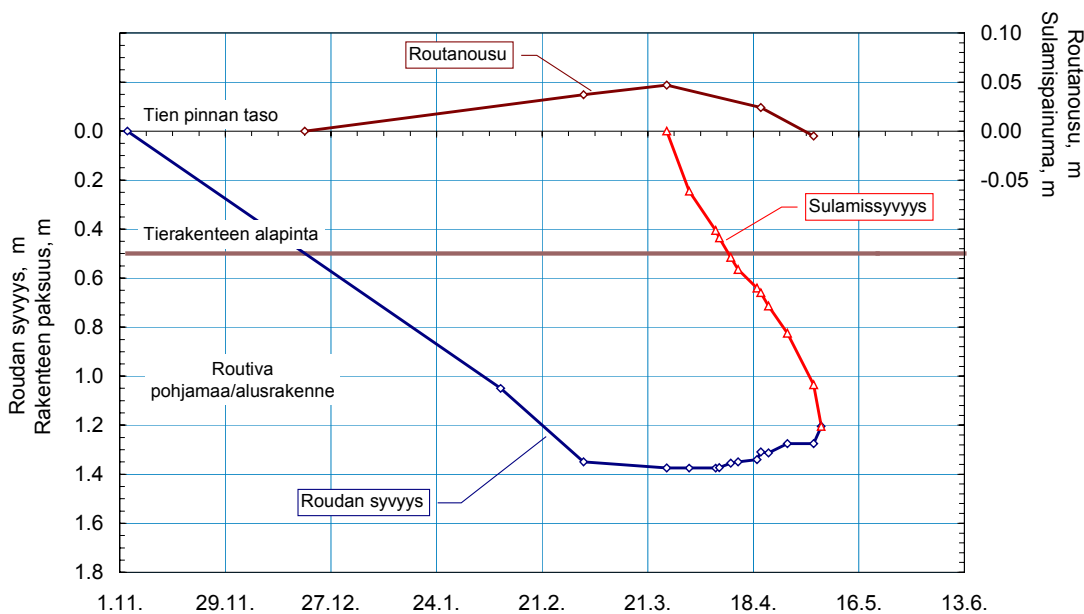
3.1 Mittausten periaate

Routanousu- ja sulamispainumamittauksilla seurataan toistuvasti tien pinnan nousemista ja painumista samojen tarkasti merkittyjen pisteiden kohdalla. Poikkeuksena on GPS-mittaus, jossa yksittäisiä mittauspisteitä ei ole tarkoituksenmukaista määritellä etukäteen. GPS-mittauksessa mittauspisteet sijoittuvat niin lähelle toisiaan, että niiden avulla saadaan tien pinnan "jatkuva" pituusprofiili ja routanousuprofiili.

Routanousumittaukset tehdään yleensä vähintään yhdellä linjalla, yleensä tien keskilinjaa pitkin. Tulosten käyttökelpoisuus ja luotettavuus paranevat, jos mittaukset tehdään lisäksi esimerkiksi tien reunaviivojen kohdalta.

Routanousun määrittämiseen tarvitaan vähintään kaksi eri vaaitus- tai mittauskertaa. Ensimmäinen mittaus (alkumittaus, nollamittaus) tehdään maan ollessa sula ja toinen routakaudella haluttuna ajankohtana. Routanousu saadaan vähentämällä routakaudella mitatusta korkeudesta sulan tilan korkeus. Routanousulle tulee näin positiivinen lukuarvo. Yleisesti routanousun vaihtelu on noin välillä 0 - 250 mm.

Sulamiskauden aikana routanousu pienenee maksimiarvostaan ja palautuu yleensä nollaan (kuva 3).



Kuva 3. Routanousun ja sulamispainuman kehittyminen talven aikana roudan tunkeutuessa tierakenteeseen. Routanousu alkaa, kun routaraja saavuttaa routivan pohjamaan tai alusrakenteen.

3.2 Routanousumittausten tarkoitus

Routanousutietoa on käytetty lähinnä tien korjaustoimenpiteiden ja siirtymäkiilojen rajaukseen. TPPT-suunnittelujärjestelmässä näitä mittauksia on tarkoitettu hyödyntää monipuolisemmin ja tehokkaammin mm. parannettavan tien mitoituksessa tarvittavien parametrien määrittämisessä. Tien routamitoitusmenettely on esitetty Menetelmäkuvaus TPPT 18 "Tierakenteen routamitoitus". Routanousutietoja voidaan käyttää myös tienpidon ohjelmoinnin apuvälineenä.

Routanousmittauksilla selvitetään routanousun suuruus ja vaihtelu haluttuna ajankohtana tien pituus- ja poikkisuunnassa. Tienpinnan routanousumittaukset tehdään joko käsittelyn alaisen tien päästä päähän tai ne kohdistetaan tien niihin kohtiin, joissa on tarkoitus selvittää tai määrittää jotakin tai joitakin seuraavista asioista:

- tien pituussuuntaisista routanousueroista liikenteelle aiheutuvaa haittaa
- routimisen vaikutusta tien sivukallistuksiin (kaarreturvallisuus, pintakuivatus)
- routimisen osuutta tien vaurioitumiseen (routivien tiekohtien paikannuksessa)
- tien pituus- ja poikkisuuntaisista routanousueroista tierakenteelle aiheutuvia rasituksia (taivutus, venymä, dynaamiset rasitukset sulamisvaiheessa)
- pohjamaan routimiskerroin (SP) sekä sen alueellinen ja syvyysuuntainen vaihtelu routanousun takaisinlaskennoilla (kts. Menetelmäkuvaus TPPT 7 Routimiskertoimen määrittäminen)
- routanousun suuruus ja tien pituus- ja poikkisuuntaisen routanousuprofiilin muoto aikaisempina, havaintotalvea ankarampina talvina, jolloin tie on mahdollisesti vaurioitunut

Routanousua mitataan joskus myös yksittäisissä routahavaintopoikkileikkauksissa tai -pisteissä, joissa on tällöin yleensä myös roudansyvyysmittari. Havaintojen perusteella määritetään/arvioidaan routimattoman tierakenteen paksuus sekä routivien maakerrosten syvyysasema ja routimiskertoimen vaihtelu syvyysuunnassa. Routimattoman tierakenteen paksuus on periaatteessa sama kuin roudansyvyys silloin, kun tienpinnan routanousu alkaa tai voimistuu merkittävästi. Routivien maakerrosten syvyyttä tien pinnasta voidaan arvioida, kun seurataan routanousun lisääntymistä talven aikana ja saman aikaisesti seurataan roudan tunkeutumista (joko mitattua tai havaintoajankohdan pakkasmäärästä laskettua).

Tien pituussuuntaista routanousukuvaajaa (routanousuprofiilia) on yleisesti käytetty korjaustoimenpiteiden ja siirtymärakenteiden rajaamisessa. Sen avulla saadaan paikannettua routivat tiekohdat, vaikka tien pinnassa ei vielä olisi havaittavia vaurioita.

Routanousuprofiilia ja muita routahavaintoja hyväksi käyttäen voidaan laskea, millaisia routarasituksia tie on joutunut kestäämään, eli mikä on ollut ko. tiekohdan suurin routanousu ja routanousuero tien rakentamisen jälkeen. Samoin on arvioitavissa, mikä tulee olemaan parannettavan tierakenteen routanousu mitoitus- ja olosuhteissa (esimerkiksi ankarin tilastollisesti kerran 20 vuodessa toistuva talvi).

Routanousu- ja sulamispainuma tietoja käytetään yhdessä muiden tutkimustulosten kanssa (mm. vauriokartoitukset, roudansyvyysmittaukset) tien rakenne- ja pohjatutkimusten, näytteenoton ja pudotuspainolaitemittausten ohjelmoinnin taustatietoina sekä tarvittavien parantamistoimenpiteiden valinnassa ja mitoituksessa.

3.3 Sulamispainumamittausten tarkoitus

Joissakin erikoistapauksissa on tarpeen seurata myös tien sulamispainumaa ja sulamispainumaan kuluva aikaa. Tulosten perusteella voidaan määrittää pohjamaan sulamiskonsolidaatiokerroin ja arvioida mm. sitä, miten pitkään sulamispainuma/ kelirikko aika enimmillään kestää. Sulamiskauden pituutta voidaan arvioida myös laskennallisesti lämpöasteesumman avulla (kts. Menetelmäkuvaus TPPT 4 "Ilmastorasitus" ja TPPT-raportti "Pohjamaan urautumisen arviointi kevätkantavuusvaiheessa").

Roudan sulamisen aikana tien kantavuus on yleensä huonoimmillaan (kevätkantavuus). Kantavuusmittausten ajoittamista varten on tarpeen tietää sulamisen päättymisajankohta ja myös sen jälkeisen kuivumisjakson pituus eli sulamispehmenemiskauden päättymisajankohta (yleensä mitataan kesäkantavuutta, Menetelmäkuvaus TPPT 1 Pudotuspainolaitemittaus (PPL-mittaus)). Kun sulamispainuma pysähtyy, on roudan sulamisvesi pääosin poistu-

nut sulaneesta maasta ja kesäkantavuustilan alku on saavutettu. Tämänkin jälkeen pohjamaa kuivuu (painumatta merkittävästi) ja kantavuus kasvaa mutta hitaammin kuin sulamispainumavaiheessa.

3.4 Routanousumittausten ajoitus

Alkumittaus

Routamittaus käsittää ns. alkumittauksen tai nollamittauksen sulanmaan aikaan ja vähintään yhden mittauskerran routakaudella. Kiintopisteiden valinta/rakentaminen, vaaituspisteiden merkintä ja alkumittaus kannattaa tehdä jo edellisenä kesänä tai syksynä. Näin menetellen routanousumittausten tulokset voidaan tarkistaa heti routakauden mittauksen valmistuttua ja mittauksia ehditään täydentämään tai toistamaan samana talvena, jos epäselvyyksiä tai täydennystarvetta ilmenee. Alkumittausten ajoitus määräytyy kuitenkin tapauskohtaisesti, sillä keväällä tehtävällä mittauksellakin on tiettyjä etuja. Mm. mittauspisteiden määrä saattaa vähentyä, kun ei jouduta mittaamaan ylimääräisiä pisteitä. Mitataan ja merkitään vain ne pisteet, jotka tarvitaan routanousun muodon tarkkaan määrittämiseen. Keväällä tehtävän alkumittauksen mittauspisteiden paikat sijoitetaan sitten routakauden mittauksien mukaisesti.

GPS-mittausta käytettäessä alkumittaus tehdään syksyllä, kun mittauksia varjostavat puiden lehdet ovat jo varisseet. Näin saadaan huomattavasti kattavampi mittaus. Keväälläkin alkumittaus voidaan tehdä, mutta mittaukseen soveltuva ajanjakso on yleensä lyhyt. Mittaus voidaan tehdä vasta, kun sulamispainuma on tapahtunut, mutta kuitenkin ennen kuin puihin on kasvanut lehvästöä.

Seurantamittaus

Yleensä routanousu mitataan silloin, kun routanousun (ja roudansyvyyyden) otaksutaan olevan suurimmillaan ko. havaintotalvena. Talven suurinta routanousua määritettäessä mittaukset ajoitetaan heti roudan sulamiskauden alkuun. Paras havaintokausi alkaa, kun mittauksia haittaava lumi on kokonaan sulanut tien pinnalta. Tämän jälkeen ei roudan syvyys eikä routanousukaan yleensä enää kasva (routaraja pysyy muutaman viikon ajan lähes paikallaan). Routanousumittaukset on tehtävä viimeistään siinä vaiheessa, kun tien pinnasta tapahtuva sulaminen on edennyt routimattoman päällysrakenteen alaosaan asti. Tämän jälkeen routanousukin alkaa pohjamaan sulaessa palautua. Myöhäisintä mahdollista mittausajankohtaa arvioitaessa on otettava huomioon, että sulamissyvyys vaihtelee merkittävästi samallakin tiellä. Aurinkoiset etelään ja länteen viettävät tiekohdat saattavat sulaa hyvinkin nopeasti. Sulamisen etenemistä voidaan arvioida ilman lämpötilojen perusteella Menetelmäkuvausessa TPPT 4 "Ilmastorasitus" esitetyllä tavalla.

Jos halutaan selvittää tierakenteen tai sen pohjamaan routivuuden syvyys-suuntaista vaihtelua, on roudansyvyys-havainnot ja routanousu-havainnot tehtävä läpi talven. Riittävän tiheästi tehtyjen havaintojen avulla voidaan tarvittaessa laskea routimiskertoimet (SP) kerroksittain jokaiselle roudansyvyys-havaintovälille. Sopiva havaintoväli on kahdesta neljään viikkoon.

3.5 Sulamispainumamittausten ajoitus

Roudan sulaminen tapahtuu aluksi vain ylhäältä tien pinnasta alaspäin (kts. edellä kuva 3). Routimattomien rakennekerrosten sulaessa routanousu ei vielä palaudu merkittävästi. Sulamispainuma alkaa varsinaisesti vasta, kun routimattomat rakennekerrokset ovat sulaneet. Sulamispainumaa mitataan yleensä vain ns. routahavaintopoikkileikkauksissa, joissa on roudansyvyysmittarikin. Mittauksia tehdään noin 1viikon välein, kunnes sulamispainuma on pysähtynyt. Painuman katsotaan päättyneen, kun alkumittauksen korkeusasema on saavutettu tai kun kahden viimeisimmän mittauskerran välillä ei ole enää korkeuden muutosta. Sula-

mispainuminen pysähtyy maalajista ja roudan syvyydestä riippuen yleensä 0 - 3 viikon kuluessa siitä, kun sulaminen on päättynyt. Sulamisen etenemistä voidaan arvioida ilman lämpötilojen perusteella Menetelmäkuvaus TPPT 4 "Ilmastorasitus" esitetyllä tavalla.

3.6 Mittausten suoritus

Alkumittaus on suunniteltava ja toteutettava siten, että sen tulosten epävarmuus on enintään puolet siitä epävarmuudesta, johon routanousumäärittämisessä pyritään. Samalla määritetään referenssipisteiden väliset korkeuserot edestakaisena mittauksena tai vaaituksena tavoite-epävarmuudella 10 mm tai parempi (kts. luku 2.4).

Yksittäisen pisteen korkeusmittauksen epävarmuus saa olla enintään ± 10 mm, jolloin routanousun ja sulamispainuman määrittämisestä tulee ± 20 mm. Em. arvot tarkoittavat epävarmuutta kohdekohtaisessa korkeusjärjestelmässä.

Mittausosuudet tai -kohteet merkitään maastoon sekä tehdään tarvittavat sidontamittaukset ja dokumentoinnit. Mittaukset tulee sitoa tien pituuspaalutukseen, pysyviin kiintopisteisiin maastossa tai karttakoordinaatistoon (xyz) siten, että routanousutiedot ja muut tutkimustulokset voidaan paikantaa mahdollisimman tarkasti. Sidonnat ja dokumentoinnit tehdään niin, että mittauskohta ja yksittäiset mittauspisteet voidaan löytää vielä usean vuoden jälkeenkin. Routanousutieto ei vanhene, kunhan tunnetaan mittausolosuhteet (mittausaika ja -paikka sekä routimaton rakennepaksuus).

Routanousumittaukset pitäisi tehdä yleensä vähintään kolmea tien pituussuuntaista linjaa pitkin. Kun mittaukset tehdään keskilinjaa lisäksi myös tien reunaviivojen kohdalta tai joltakin muulta vakioetäisyydeltä keskilinjasta, tulosten käyttökelpoisuus ja luotettavuus paranevat. Näin saadaan selville routanousuero tien reunojen ja keskilinjaa välillä ja yksittäiset mittausvirheetkin voidaan paremmin tunnistaa.

Jos kohteessa on roudansyvyysmittari (Menetelmäkuvaus TPPT 5 Roudan syvyyden määrittäminen), merkitään sen viereen piste, jonka routanousua myös seurataan.

Vaaitus ja takymetrimittaus

Yksittäisen mittauspisteen kaikki mittaukset (alku-, routanousu- sulamispainuma-mittaukset) tehdään aina samasta kohdasta. Pisteet, joiden routanousua halutaan seurata, merkitään pienellä maalitäplällä ennen alkumittausta. Merkintöjen tulee olla niin selviä, että mittajaan vaihtuessaan mittaukset on mahdollista tehdä samoista kohdista. Kuivaan tiehen maalatut pienet täplät säilyvät havaittavina noin vuoden ajan, jonka jälkeen maalausta on vahvistettava. Myös vaaitusnauloja tms. voidaan käyttää, mutta aurauskalusto saattaa irrottaa tai vääntää niitä.

Tien pituussuunnassa mittauspisteiden välin tulee yleensä olla enintään 5 m. Varsinkin ennakkoon tehtävän alkumittauksen pistevälin pitää olla riittävän tiheä, jotta lyhyetkin routanousuosuudet saadaan mitattua ja paikannettua. Tasaisesti routivilla tieosuuksilla routakauden mittausten pisteväliä voidaan suurentaa 10 - 20 metriin. Joskus taas on tarpeen lyhentää mittauspisteiden väliä, jos tasavälein mitattujen pisteiden väliin osuu silmämääräisesti havaittava routaheitto tai painautuma. Alkumittausta täydennetään seuraavana kesänä, jos talvella on ilmennyt tarvetta mitata korkeudet ennakkoon tehtyä alkumittausta tiheämmin.

GPS-mittaus

GPS-mittausten suoritustapa routanousumittauksissa ei ole vielä (v. 2001) vakiintunut. Seuraavassa esitetään havaintoja TPPT-ohjelmassa toteutetun kokeiluvaiheen mittauksista sekä joitakin näkökohtia ja suosituksia mittauksen suorittamisesta ja tuloksen varmistamisesta. Näissä mittauksissa ei ole ollut käytettävissä ns. inertia-paikannusta.

Tien routanousun ja painuman mittauksen tarkkuusvaatimukset asettavat suuret vaatimukset GPS-mittauslaitteistolle, mittausolosuhteille ja mittaustulosten käsittelylle. GPS-mittaus tapahtuu liikkuvasta ajoneuvosta sekunnin välein, josta syystä mittauspisteiden välimatka riippuu ajonopeudesta. GPS-mittauksissa yksittäisiä mittauspisteitä ei kohdisteta.

Alkumittauksen yhteydessä laaditaan myös kuvaus siitä, miten mittauslinjat on sijoitettu tiepoikkileikkaukseen (piirros ja selventävä teksti).

Mittauslinjan paikka valitaan niin, että antenni saadaan kulkemaan samaa linjaa pitkin eri mittauskerroilla ja mittausosuuden joka paikassa. Tarvittaessa tiehen maalataan tätä varten apumerkintöjä.

Mittauslinjan pisteiden välin on oltava lyhyt, jotta korkeusero saadaan kahden murtoviivan korkeuksien erotuksena. Korkeusero lasketaan tiheämmin mitatun mittauskerran linjan mittauspisteiden kohdalla. Routakauden mittaukset on siis tarkoituksenmukaista tehdä yhtä tiheästi (tai tiheämminkin) kuin alkumittaus.

Lyhyt pisteväli on suositeltavaa myös siitä syystä, että mittausepä-tarkkuudesta johtuvia tulkintavaikeuksia voitaisiin hieman vähentää tulosten keskiarvoistuksella. Käyttämällä lyhyttä 1- 2 metrin mittauspisteväliä eli ajonopeutta 3.6 - 7.2 km/h yksittäiset mittausvirheet ovat paremmin tunnistettavissa ja poistettavissa aineistosta ilman, että tulostietoihin jäisi liian suurta aukkoa.

GPS-mittaus ei onnistu olosuhteissa, joissa maaston muodot, puusto tai rakennukset varjostavat mittausantennin ja satelliittien välistä yhteyttä. Nämä kohdat, jotka voidaan rajata tarkasti vasta GPS-mittausten jälkeen, on mitattava muilla menetelmillä.

Routanousu ja painumamittausten tarkkuusvaatimus edellyttää ns. jälkilaskentaa, jolla tien pinnan mittaustulosta korjataan käyttäen hyväksi samanaikaisesti mitattua toisen, sijainniltaan tunnetun satelliittivastaanottimen mittaustietoa. Tämän lisäksi jälkilaskennassa saattaa olla tarpeen käyttää lisäreferenssipisteitä, joiden avulla tien pinnan GPS -ratkaisu pakotetaan "oikeaan" korkeuteen. Lisäreferenssejä tarvitaan etenkin alueilla, joilla mittausolosuhteet eivät ole ihanteelliset. Referenssipisteiden sopivat paikat määräytyvät vasta jälkilaskennan avulla, joten voisi olla tarkoituksenmukaista merkitä ja vaaita referenssipisteitä määrävälein jokaiselle mittauslinjalle.

Jälkilaskentaa käyttäen saavutettava korkeuden mittausepävarmuus (noin ± 25 mm) ei nykyisellään ole riittävä alle 50 mm routanousujen luotettavaan mittaamiseen. Lisäksi GPS-mittausten korkeuslukemissa saattaa joissakin tiekohdissa esiintyä selvästi suurempaa hajontaa kuin muualla samalla tiellä, vaikka mitään selkeää syytä ei ole. Liitteessä 1 on esimerkki tällaisesta mittauksesta. Loppupäässä (paalulta 16500 eteenpäin) routanousuprofiilit ovat hyvin saman näköisiä, mutta paaluvälillä 14000 - 16500 esiintyy hajontaa ja negatiivisia routanousuarvoja (harhaisuutta) kaikilla neljällä rinnakkaisella mittauslinjalla. Mittaukset on tehty molemmilta ajokaistoilta kahta GPS-laitteistoa käyttäen.

Routanousuprofiilissa voi esiintyä epärealistisia routanousuarvoja myös siitä syystä, että vertailumittauksen mittauspisteiden väli on liian pitkä, jolloin sitä edustava murtoviiva oikaisee verrattuna tien pinnan todelliseen korkeuteen. Oikaisun kohdalla laskettu routanousu on

joko liian pieni tai liian suuri riippuen siitä, miten oikaisu on tapahtunut. Esimerkiksi liitteen 1 routanousuprofiiliin piikit ovat yleensä kohdissa, jossa mittauspisteiden väli on pitkä.

Sorapintaisten teiden routanousumittausten erityispiirteitä

Sorapintaisten teillä pysyvän päällysteen puuttuminen vaikeuttaa routanousumittausten suoritusta mm. seuraavista syistä johtuen:

- mittauspisteiden paikkoja ei voida merkitä pysyvästi tien pintaan.
- tienpinnan korkeus saattaa muuttua mittausten välillä hoitotoimenpiteistä johtuen
- tien pinta voi olla pehmeä/painuva tai jopa hitaasti sivulle päin siirtyvä
- tien pinta on talvella yleensä lumen ja jään peitossa (ei talvisuolausta)
- ei ole merkittyä keskiviivaa eikä reunaviivoja.

Nämä seikat edellyttävät mittauksilta ja suoritustavalta mm. seuraavien seikkojen huomioon ottamista:

- mittausten aloitus- ja lopetuspisteet sekä riittävä määrä välipisteitä merkitään tien sivuun pysyvillä paaluilla tai vastaavilla niin, että mittauspisteiden paikat voidaan mitata sekä pituus- että poikkisuunnassa
- alkumittaus tehdään edellisenä syksynä viimeisen loraus- tai kunnostuskerran jälkeen tai keväällä ennen em. toimenpiteitä, mutta vasta sulamispainuman jo tapahduttua
- jos paikannusmittausten mukaisessa mittauspisteessä on irtokiviä, kuoppa tai kasautuma, niin lopullinen mittauskohta valitaan siten, että paikalliset epätasaisuudet eivät vaikuta tuloksiin (etenkin viettävässä tiekohdassa mittauspiste valitaan mahdollisimman läheltä ja samalta korkeuskäyrältä kuin paikannettu kohta)
- soratiellä mittauksia tehdään mieluummin vähän normaalia tiheämmin (2-5 m välein), jotta mahdollisten virhetulosten poistamisen jälkeenkin jää luotettavien tulosten saamiseksi riittävä määrä mittaustietoa.

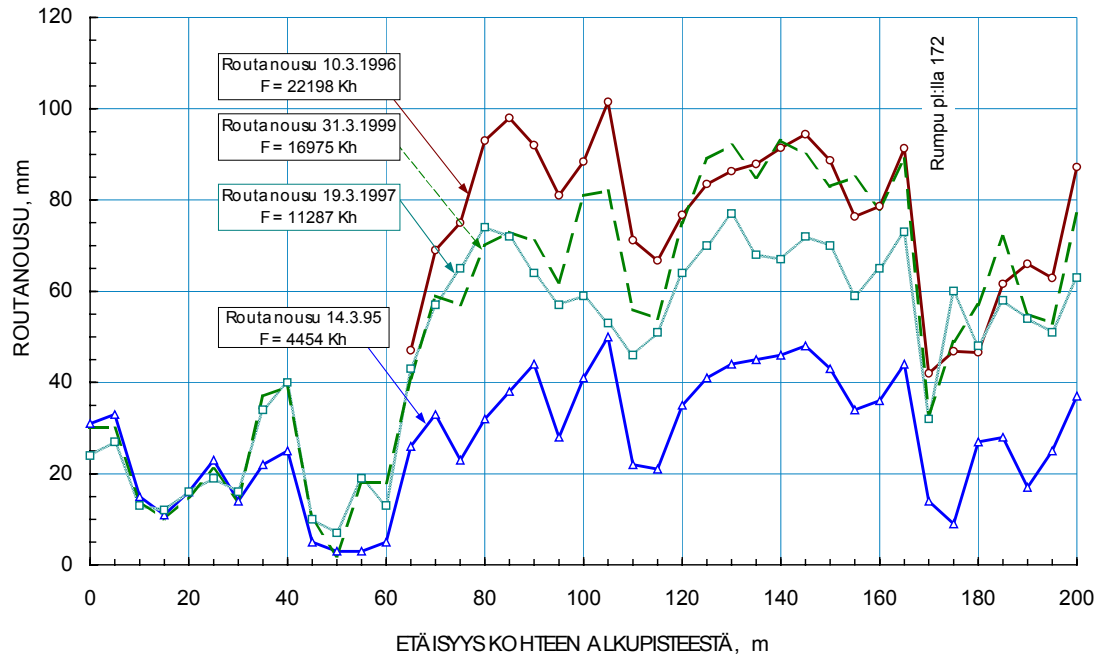
GPS-ajoneuvomittausta ei suositella sorapintaisten teille, ellei ole löydettävissä hyväksyttävää ratkaisua seuraaviin ongelmiin:

- mittauslinjojen kohdistaminen aina samaan kohtaan tiepoikkileikkauksessa
- irtokivistä ja pinnan pehmeystestä johtuen mittauksiin tulee ylimääristä hajontaa
- kapeilla teillä tien varren puusto yms. haittaavat GPS-mittauksia tai estävät ne kokonaan.

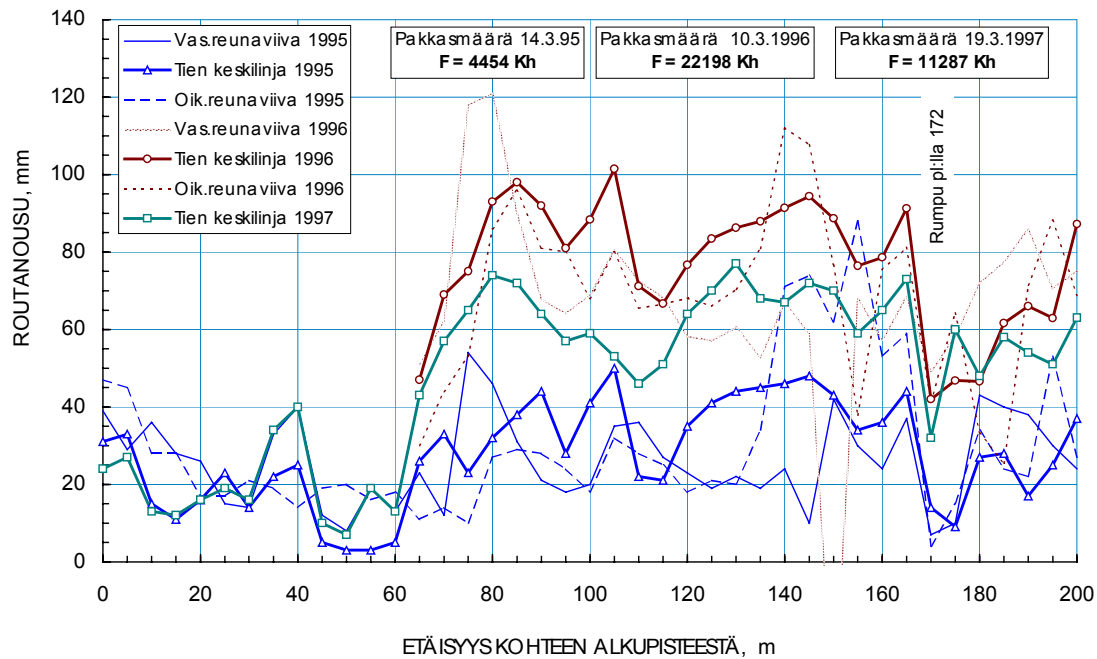
3.7 Tulosten esittäminen

Routanousumittaukset esitetään yleensä tien pituussuuntaisena routanousuprofiilina. Routanousuprofiilit (kuvat 4 ja 5) on havainnollista esittää ja tarkastella yhdessä tien rakenne-tietojen, vauriokartan ja pudotuspainomittaustulosten kanssa, kaikki samassa pituusmitta-kaavassa esitettynä. Kun täydentäviä rakenne- ja maaperätutkimuksia kohdistetaan routanousun muutoskohtiin, saadaan mm. paikannettua tarkasti pohjamaalajien muutoskohta.

Routanousumittaukset pitäisi tehdä yleensä vähintään kolmea tien pituussuuntaista linjaa pitkin. Näin tuloksista voidaan piirtää myös routanousukuvaajia tien poikkisuunnassa (kuvat 6 ja 7) ja kuvaaja routanousun aiheuttamasta poikkisuuntaisesta kulmamuuutoksesta tien keskilinjalla (kuva 8 ja jäljempänä kuva 11) tai routanousun aiheuttamasta päällysteen venymästä. Vertaamalla kulmamuuutosta ja päällysteen venymää vauriokartoitukseen voidaan arvioida mm. pituushalkeamien syitä.



Kuva 4. Routanousu tien keskilinjalla eri talvina. Pääsääntöisesti samat tiekohdat routivat vuodesta toiseen. Routanousun suuruus riippuu mm. havaintoajankohdan pakkasmäärästä (vrt. kuva 9).



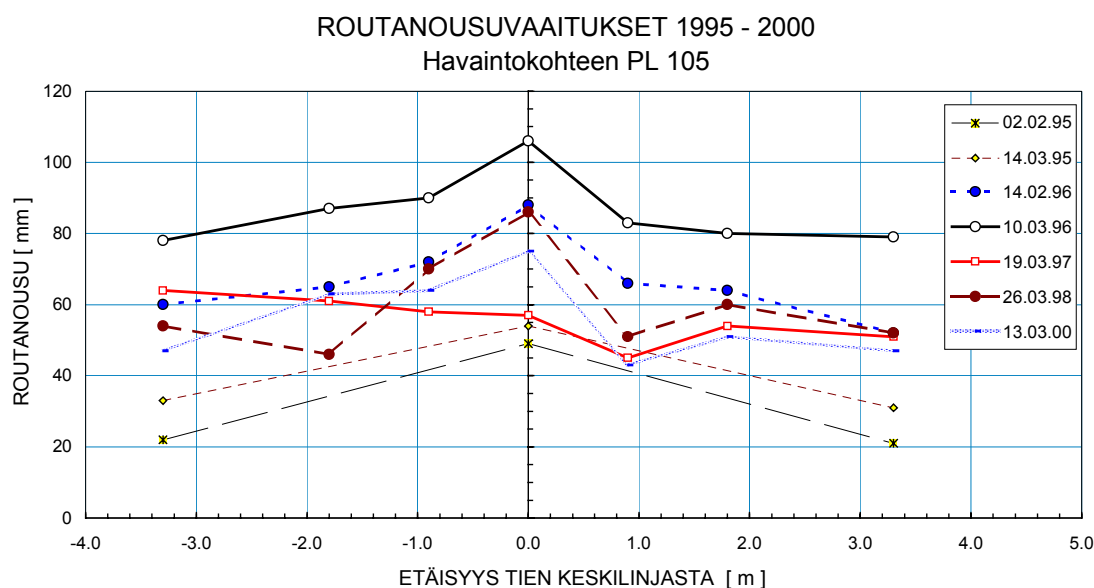
Kuva 5. Routanousu tien keskellä ja reunoissa. Jos mittauspisteiden väli olisi suurempi kuin 5 m, jäisi osa routaheitoista ehkä havaitsematta.

Esimerkki routanousumittausten tulkinnasta

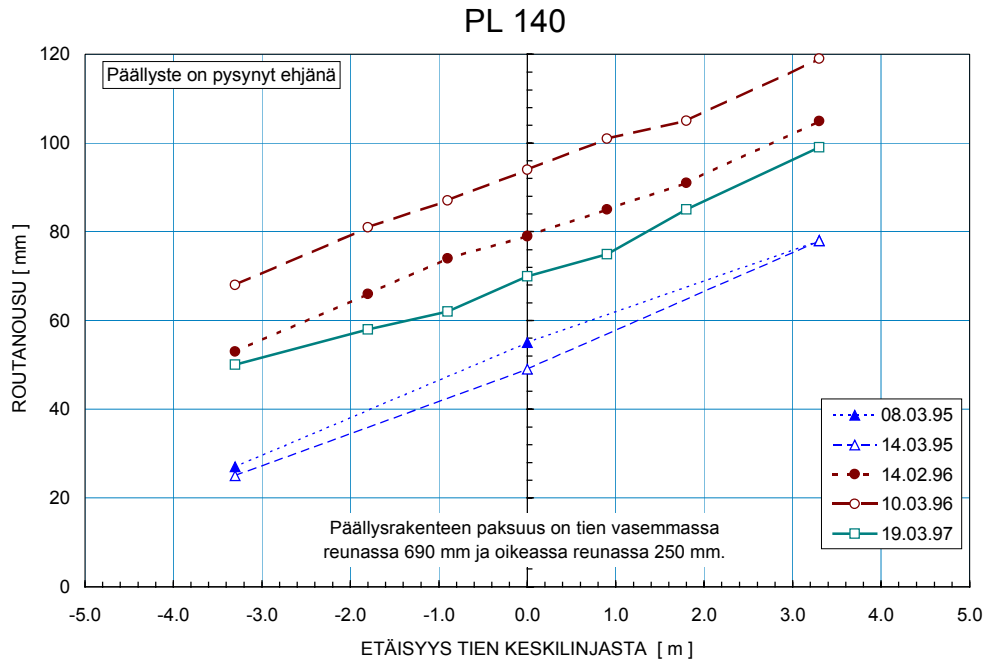
Kuvassa 6 on erään routahavaintotien poikkileikkauksen routanousuhavaintoja usean vuoden ajalta. Näin runsaasti ei routanousumittauksia normaalissa tienpidossa tehdä, mutta kuva auttaa ymmärtämään tien routimisen luonnetta. Tien keskilinjalla on todennäköisesti routiva maakerros, joka on talvella 1996/97 routaantunut niin nopeasti, ettei se ole ehtinyt juurikaan routia (kuvassa 9 on esitetty havaintotalvien pakkasmääriä noin 35 km etäisyydellä havaintokohteesta). Routiva kerros on heti rakennekerrosten alapuolella tai myös rakennekerrokset ovat routivia, koska myös leutona talvena 1994/95 keskilinja on noussut. Voimakas routanousuero tien keskialueella viittaa siihen, että kohteessa tehty parannustyö ei ole täysin onnistunut, vaan keskialueen rakenne on jäänyt ohuemmaksi kaista kerrallaan parannettaessa.

Talvella 94/95 routanousumittaukset tehtiin vain tien keskilinjalta ja reunoista. Myöhemmistä mittauksista nähdään, että tämä ei ole riittävä, jos halutaan selvittää routanousun tarkka muoto esimerkiksi halkeilun syytä selvittäessä.

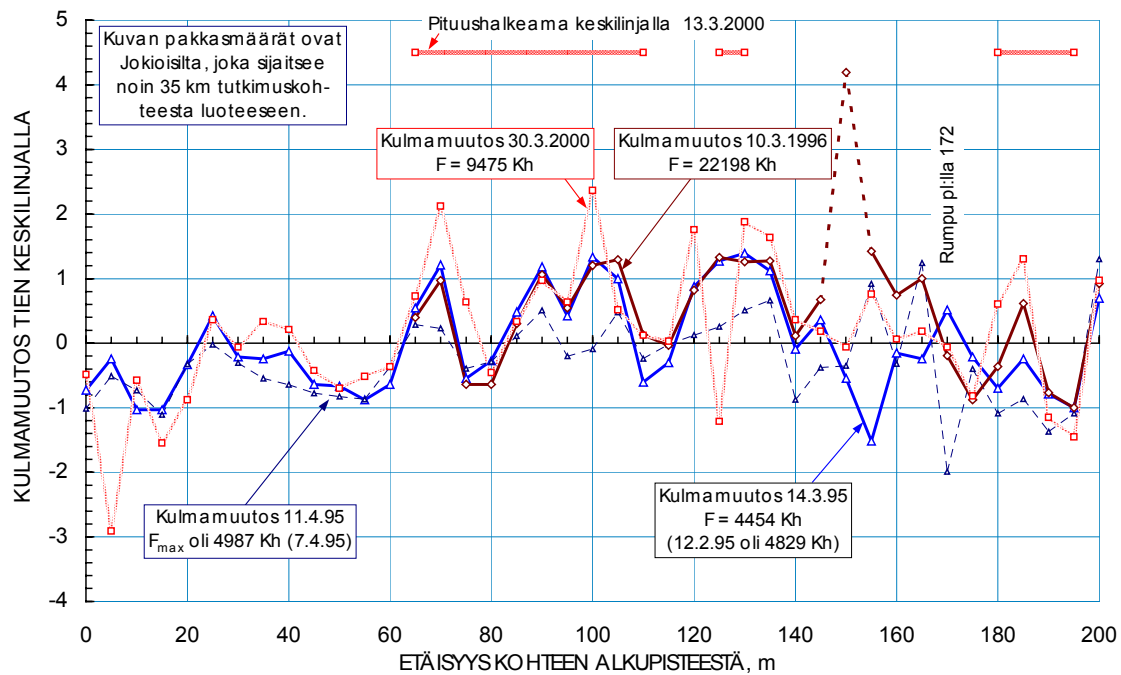
Riittävän suuri pistetiheys mahdollistaa jopa maastomallin laatimisen tien pinnasta. Liitteessä 3 on esimerkki routanousun tulostuksesta tasa-arvokäyrien avulla. Sitä varten tien pinnasta on laadittu maastomallit maksimiroudan aikaisten mittausten ja sulan tilan mittausten mukaisesti. Mallien korkeusero (routanousu) voidaan esittää tasa-arvokuvaajana esimerkiksi yhdessä vauriokartan kanssa.



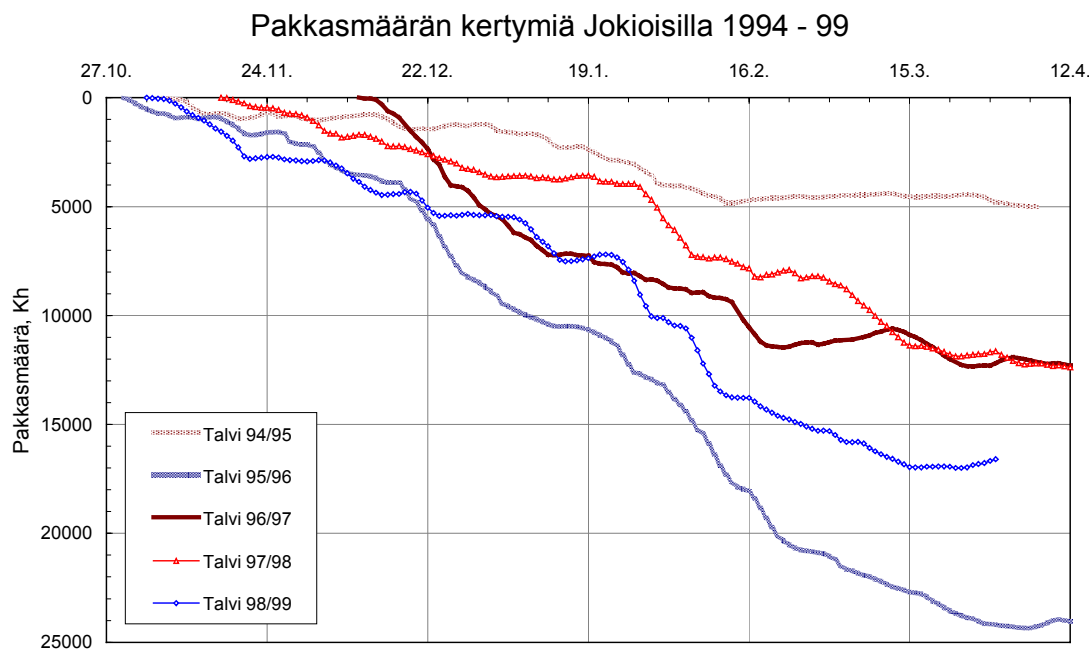
Kuva 6. Routanousu tien poikkileikkauksessa eri talvina. Tien keskilinjalla on routiva maakerros, joka kuitenkin talvella 1996/97 on routaantunut niin nopeasti, ettei se ole ehtinyt juurikaan routia.



Kuva 7. Routanousu tien poikkileikkauksessa eri talvina. Tien oikean reunan alla on routivampaa maata tai routimaton rakennepaksuus ohenee vasemmalta oikealle siirryttäessä kuten koekuoppatutkimukset myöhemmin varmistivat.



Kuva 8. Tien poikkisuuntainen kulmamuutos keskilinjalla. Se on laskettu keskilinjalla ja reunojen routanoususta maksimiroudan aikaan neljänä eri talvena. Kun kulmamuutos on positiivinen, keskilinja on noussut enemmän kuin reunat keskimäärin.



Kuva 9. Talven pakkasmäärä vaihtelee eri vuosina. Tien pinnan mitattu routanousu riippuu havaintoajankohtaan mennessä kertyneestä pakkasmäärästä.

4 PAINUMAMITTAUKSET

4.1 Mittausten periaate

Painumamittaukset tehdään yleensä vähintään yhdellä linjalla, yleensä tien keskilinjaa pitkin. Tulosten käyttökelpoisuus ja luotettavuus paranevat, jos mittaukset tehdään myös esimerkiksi tien reunaviivojen kohdalta.

Painuman määrittämiseen tarvitaan vähintään kaksi eri vaaitus- tai mittauskertaa. Ensimmäinen mittaus (alkumittaus) tehdään uudella tiellä heti tien tai päällysteen valmistumisen jälkeen ja toinen sekä seuraavat valmiilla tiellä haluttuina ajankohtina. Painuma saadaan vähentämällä tarkasteluajankohdan korkeudesta alkumittauksen korkeus. Painumalle tulee näin negatiivinen lukuarvo, joka vaihtelee tyypillisesti noin välillä 0 - 700 mm.

Painumamittaukset poikkeavat routanousumittauksista lähinnä vain suoritusajankohdan ja seuranta-ajan pituuden osalta. Tien painuminen saattaa jatkua vuosikymmeniä. Mittausteknisesti ne vastaavat pääsääntöisesti toisiaan. Tässä luvussa painotetaan eräitä painumamittauksen erityispiirteitä. Yksityiskohtien osalta viitataan routanousumittauksia käsittelevään lukuun 3.

4.2 Painumamittausten tarkoitus

Tietoa painuman suuruudesta ja nopeudesta tarvitaan mm.

- 1) esikuormituspenkereen sopivaa poistamisajankohtaa määritettäessä,
- 2) rakentamisen laadun tarkkailussa ja takuuehtojen valvonnassa ja
- 3) vanhan tierakenteen kuntoa tai korjaustarvetta arvioitaessa ja korjausta suunniteltaessa.

Tien painumalaskenta TPPT-suunnittelujärjestelmän mukaisesti on esitetty Menetelmäkuvaussessa TPPT 19 Tien jatkuvan painumaprofiilin laskenta pikselimallilla.

Tien pinnan korkeus- ja painumatietojen perusteella voidaan määrittää mm. tarvittavan korotuksen suuruus ja siitä aiheutuva lisäkuormitus pohjamaalle. Jos käytettävissä on useita peräkkäisiä painumamittauksia, mittausten perusteella voidaan ennalta arvioida ajankohta (ennalta määritetyn suurimman sallitus painumakriteerin ylittyminen), jolloin tietä on viimeistään korotettava.

Tien pituussuuntaisen painumakuvaajan (painumaprofiilin, kuva 10) avulla saadaan paikannettua painuvat tiekohdat ja rajattua korjaustoimenpiteet ja niiden siirtymärakenteet optimaalisesti. Painumatietoja yhdessä muiden tutkimustulosten (mm. vauriokartoitukset) kanssa käytetään myös rakenne- ja pohjatutkimusten sekä näytteenoton ohjelmoinnin taustaineistona.

Painumamittauksilla selvitetään painuman suuruus ja vaihtelu tien pituus- ja poikkisuunnassa. Tienpinnan painumamittaukset kohdistetaan niihin tiekohtiin, joissa selvitetään/määritetään:

- tien pituussuuntaisista painumaeroista liikenteelle aiheutuvaa haittaa
- painumisen vaikutusta tien sivukallistuksiin (kaareturvallisuus, pintakuivatus)
- painumisen osuutta vaurioitumiseen (painuvien tiekohtien rajaamisessa)
- tien pituus- ja poikkisuuntaisista painumaeroista tierakenteelle aiheutuvia rasituksia (taivutus, venymä, dynaamiset rasitukset sulamisvaiheessa).

Painumaa voidaan mitata myös yksittäisissä painumahavaintopisteissä, jolloin havaintojen perusteella voidaan määrittää tai varmentaa pohjamaan kokoonpuristuvuusominaisuudet tarkemmin ja yksityiskohtaisemmin kuin laaja-alaisissa tutkimuksissa. Tuloksia voidaan käyttää hyväksi ko. pehmeikköalueen painumalaskentamallin tarkennuksessa.

4.3 Painumamittausten ajoitus

Painumalle alttiit pohjamaat ovat myös routivia, joten painumamittauksia ei tule tehdä talvisin. Tien painumamittaukset tehdään tien pohjamaan ollessa sula. Routimattoman tierakenteen routaantuminen (jäätyminen) ei vielä estä painumamittauksia.

Painumamittaukset aloitetaan ns. alkumittauksella, joka uuden tien tapauksessa tehdään heti tien valmistuttua. Käytössä olevalla tiellä alkumittaus tarkoittaa mittausajankohdan lähtötason mittaamista. Tie saattaa olla jo painunut ensimmäiseen mittaukseen mennessä, jolloin varsinainen alkutilanne on otaksuttava suunnitelman mukaiseksi. Alkumittaus pitäisi tehdä ainakin niillä tieosuuksilla, joiden otaksutaan painuvan merkittävästi (yli 100 - 200 mm) ja joissa ei voida sallia jatkuvia painuman tasauksia tierakenteen huonosta vakavuudesta johtuen. Alkumittauksen yhteydessä valitaan/rakennetaan myös tarvittavat kiintopisteet (kts. kohta 2.4).

Periaatteessa tien pinnan korkeusasema pitäisi mitata ennen jokaista uudelleen päällystystä ja päällystysjälkeen, jotta saadaan selville päällystyksestä ja tasaustäydyksistä aiheutuvat kuormituksen lisäykset.

Painuneen tilan mittaukset tulevat ajankohtaisiksi silloin, kun tien epätasainen painuminen haittaa tai vaarantaa liikennettä. Yleensä tien pituussuuntainen epätasaisuus alkaa ensin haitata raskaita ajoneuvoja, joiden jousitus on jäykkä. Painuminen on epätasaisista myös tien poikkisuunnassa, jolloin suunnitelman mukaiset sivukallistukset eivät säily. Puutteellinen sivukallistus heikentää liikenneturvallisuutta ensin kaarteissa ja kohdissa, joissa pintakuivatus lakkaa toimimasta.

4.4 Mittausten suoritus

Tien painumamittauksissa noudatetaan soveltuvin osin routamittausten yhteydessä esitettyjä menettelyjä (luku 3.6).

Alkumittaus on suunniteltava ja toteutettava siten, että sen tulosten epävarmuus on enintään puolet siitä epävarmuudesta, johon painumamäärittämisessä pyritään. Alkumittauksen yhteydessä määritetään referenssipisteiden väliset korkeuserot edestakaisena mittauksena vaaituksena tavoite-epävarmuudella 10 mm tai parempi (kts. luku 2.4).

Yksittäisen pisteen korkeusmittauksen epävarmuus saa olla enintään ± 10 mm, jolloin painuman määrityksen epävarmuudeksi tulee ± 20 mm. Em. arvot tarkoittavat epävarmuutta kohdekohtaisessa korkeusjärjestelmässä. Tietyissä erikoistapauksissa, kuten siltojen tai rumpujen ja niiden tulopenkereiden painumaseurannassa tarkkuusvaatimukset voivat olla edellä mainittua tiukemmat. Niiden tarkkuusvaatimukset on annettava tapauskohtaisesti.

Painumamittaukset tehdään yleensä vähintään tien keskilinjaa pitkin. Tulosten käyttökelpoisuus ja luotettavuus paranevat, jos mittaukset tehdään myös esimerkiksi tien reuna- viivojen kohdalta (vakioetäisyydeltä keskilinjasta). Näin saadaan selville painumaero tien reunojen ja keskilinjan välillä (sivukaltevuuden muutos) ja myös yksittäiset mittausvirheet voidaan paremmin tunnistaa.

Mittaukset tulee sitoa tien pituuspaalutukseen, pysyviin kiintopisteisiin maastossa tai kartta-koordinaatistoon (xyz) siten, että painumatiedot ja muut tutkimustulokset voidaan paikantaa ja kohdistaa jokaisella mittauskerralla mahdollisimman tarkasti. Sidonnat tehdään niin, että myöhemmät uusintamittaukset voidaan kohdistaa aikaisempien mittausten kanssa vielä usean vuoden jälkeenkin. Painumamittautieto ei vanhene, kunhan tunnetaan mittausaika ja -paikka sekä mahdolliset kuormituksen muutokset (painuman tasauksien määrä ja laatu).

Alkumittausta tehtäessä tie on yleensä suhteellisen tasainen (painumaton tai painumat on tasattu), joten pisteväli voi olla harva (10 - 20 m). Jos varsinaisen painumamittauksen pistetiheys on suurempi, interpoloidaan puuttuvat alkuarvot suoraviivaisesti.

Tien pituussuunnassa mittauspisteiden välin tulee yleensä olla 5 - 10 m. Pisteväliä voidaan joskus suurentaa 10 - 20 metriin silmämääräisesti tasaisesti painuneilla tieosuuksilla. Toisinaan on tarpeen lyhentää mittauspisteiden väliä, jos tasavälein mitattujen pisteiden väliin osuu silmämääräisesti havaittava painuma tai painuman syvin kohta.

Vaaitus tai takymetrimittaus

Mittauspisteet merkitään etukäteen tien pintaan maalilla (kts. routamittauksia käsittelevä luku 3.6). Merkitseminen ei ole välttämätöntä, jos mittauspisteiden kohdistus voidaan tehdä luotettavilla paikannusmittauksilla. Eri aikoina tehdyt mittaukset pitää kuitenkin kohdistaa paikalleen vähintään 0.1 m tarkkuudella. Tällöin sijaintipoikkeamasta syntyy enintään 5 mm virhe, jos mitattavan pinnan viettokaltevuus on 5 %.

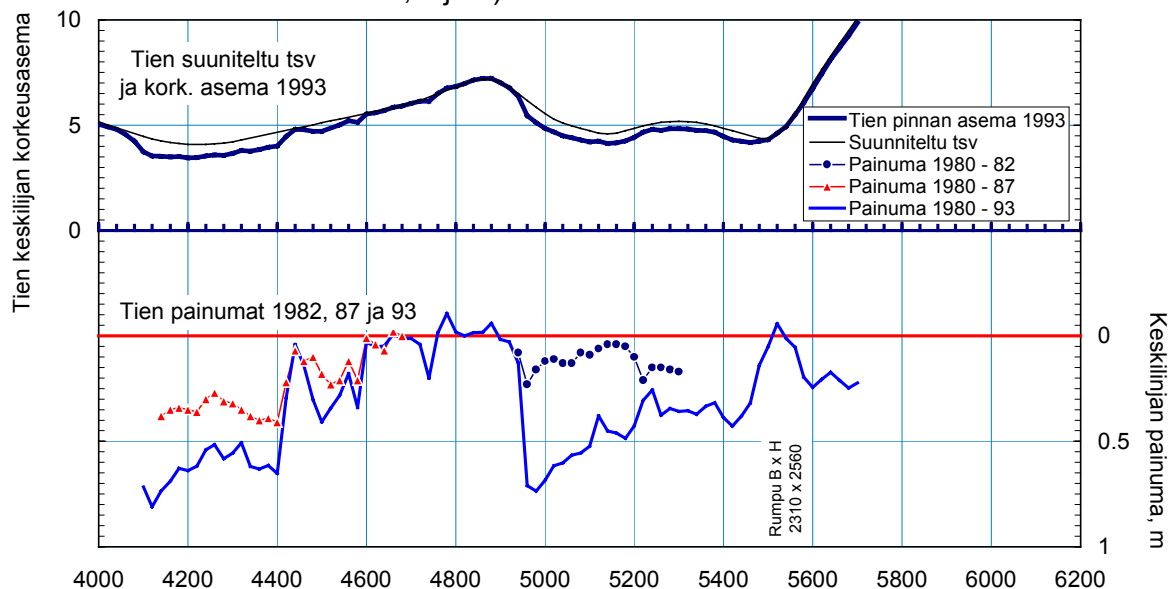
GPS-mittaus

GPS-mittausten suoritustapa ei ole tätä menetelmäkuvausta laadittaessa (v. 2001) vielä vakiintunut. Routamittausten yhteydessä kohdassa 3.6 on esitetty havaintoja ja johtopäätöksiä kokeiluvaiheen mittauksista.

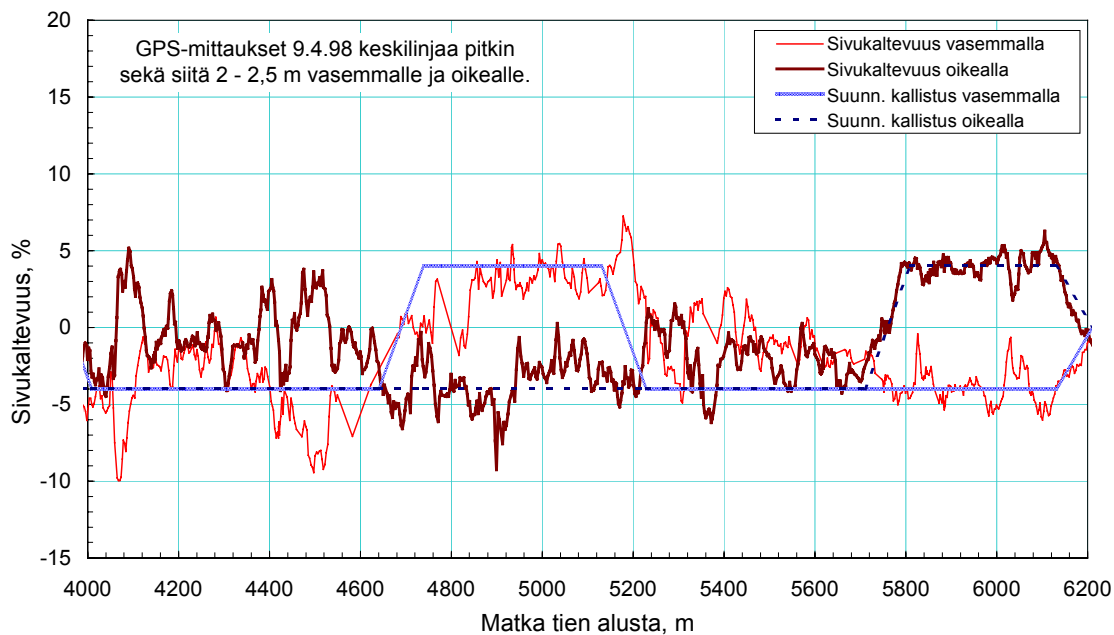
4.5 Tulosten esittäminen

Painumamittaustulokset esitetään yleensä tien pituussuuntaisena painumaprofiilina (kuva 10). Tulostuksessa voidaan soveltaa myös routamittausten yhteydessä esitettyjä tulostustapoja (liitteet 1 - 3).

Painumamittaukset pitäisi tehdä vähintään kolmea tien pituussuuntaista linjaa pitkin. Tällöin tuloksista voidaan piirtää myös painumakuvaaja tien poikkisuunnassa tai laskea ja piirtää kuvaaja painuman aiheuttamasta poikkisuuntaisesta kaltevuudenmuutoksesta (kuva 11 ja routamittausten tulostuskuvat 5, 6 ja 7).



Kuva 10. Tien keskilinjain painunut muoto (1993) sekä eri ajankohtina tehdyistä vaaituksista ja takymetrimittauksista lasketut painumaprofiilit. Paaluväli 4000 - 6200.



Kuva 11. Kolmesta rinnakkaisesta GPS-mittauksesta (9.4.98) laskettu tien sivukaltevuus verrattuna suunnitelman (1979) mukaiseen sivukaltevuuteen. Vertaa kuvan 10 painumaprofiileihin. Paaluväli 4000 - 6200.

5 VIITTEET

Ilmastorasitus. Menetelmäkuvaus TPPT 4. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2001.

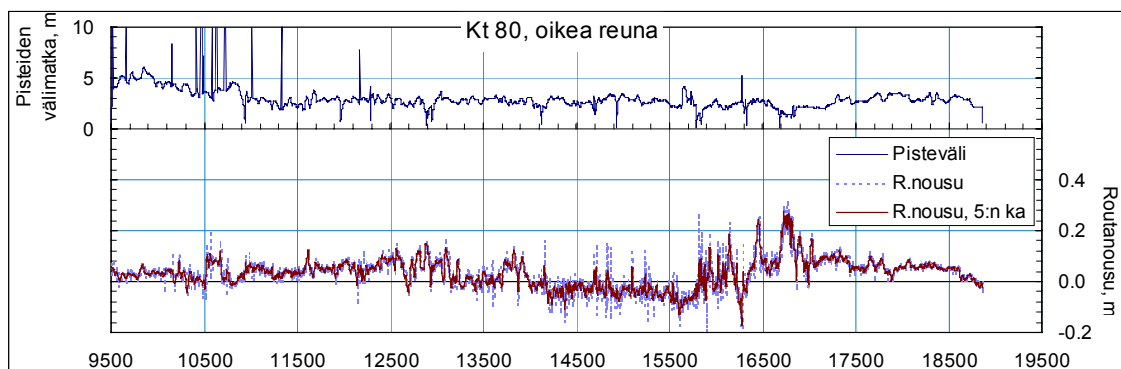
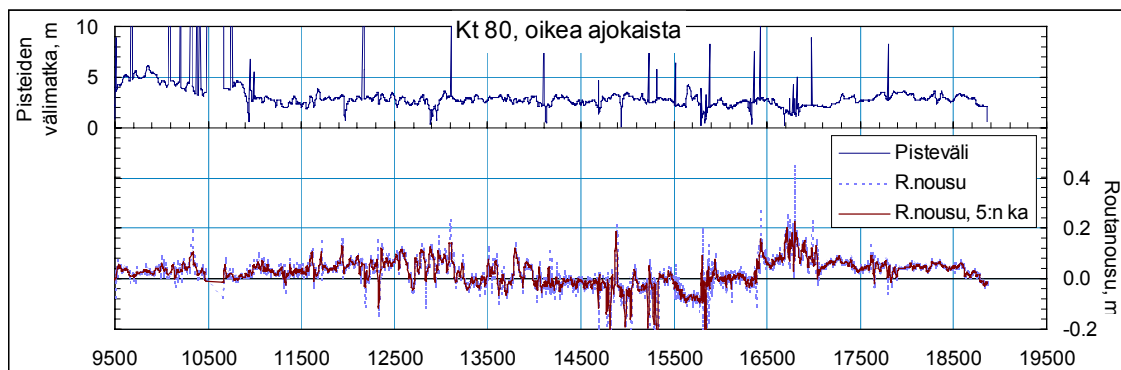
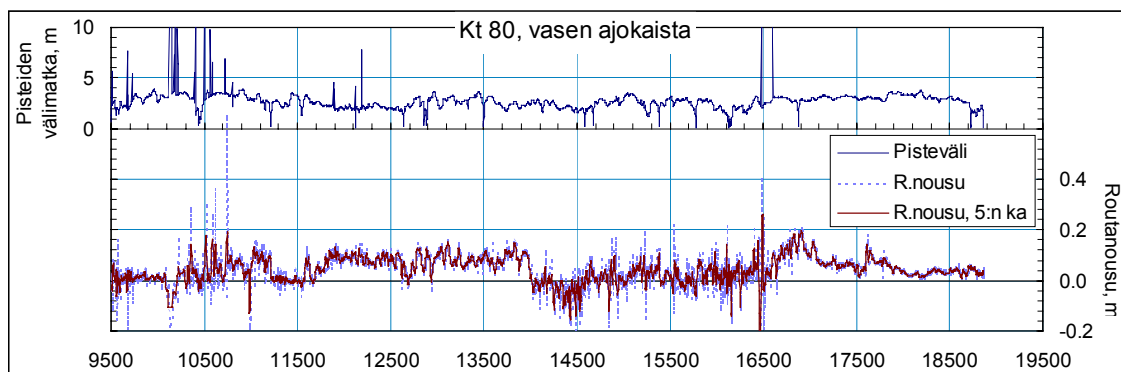
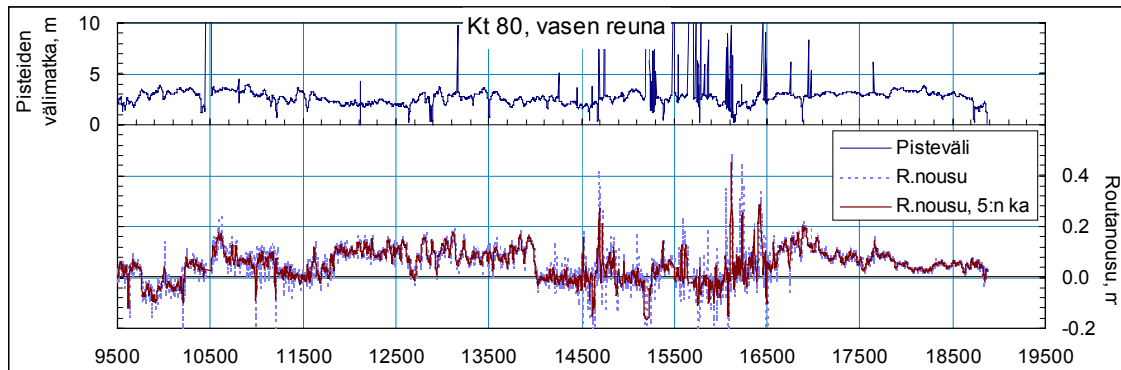
Onninen, H. 1998. Pohjasuhteiden ja tierakenteiden kuvaus. TPPT-työraportti nro P6. 18 s + liitteet 100 s.

Routimiskertoimen määrittäminen. Menetelmäkuvaus TPPT 7. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2001.

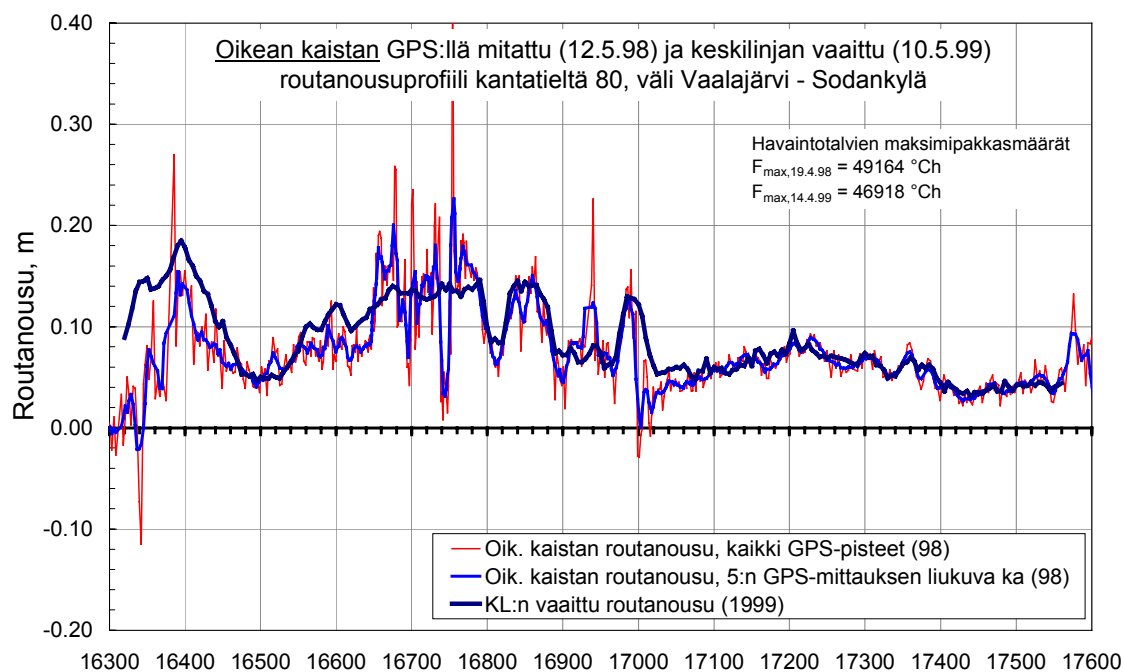
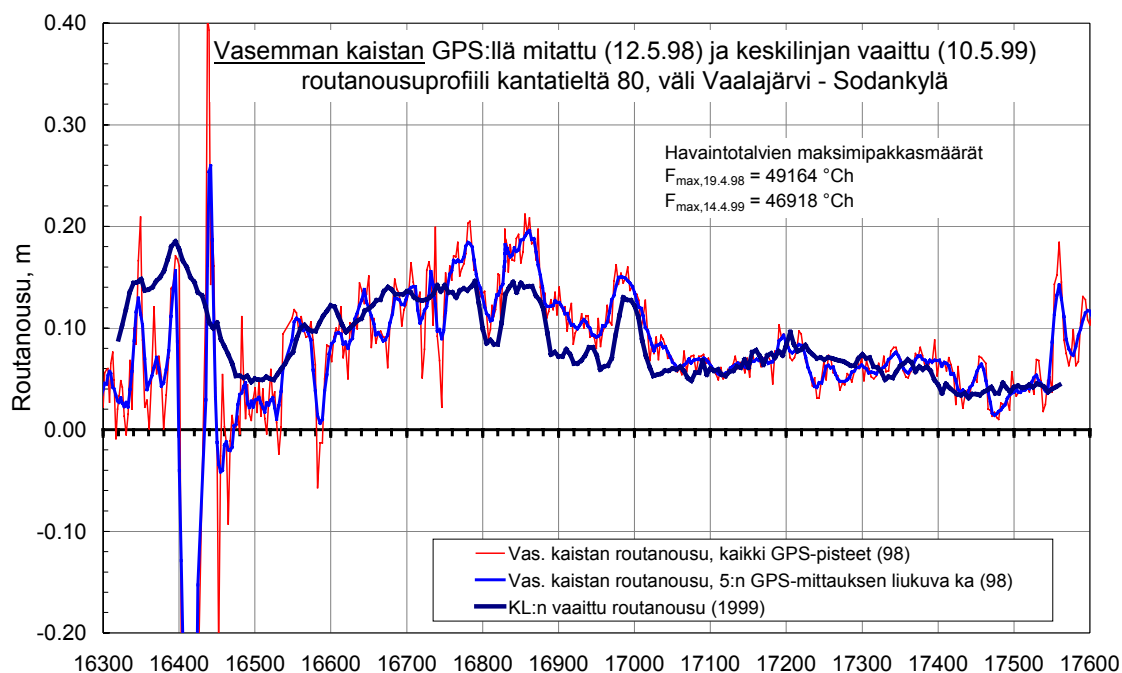
Tierakenteen routamitoitus. Menetelmäkuvaus TPPT 18. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2001.

Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma. TPPT-suunnittelujärjestelmän kuvaus. TPPT Raportti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2001.

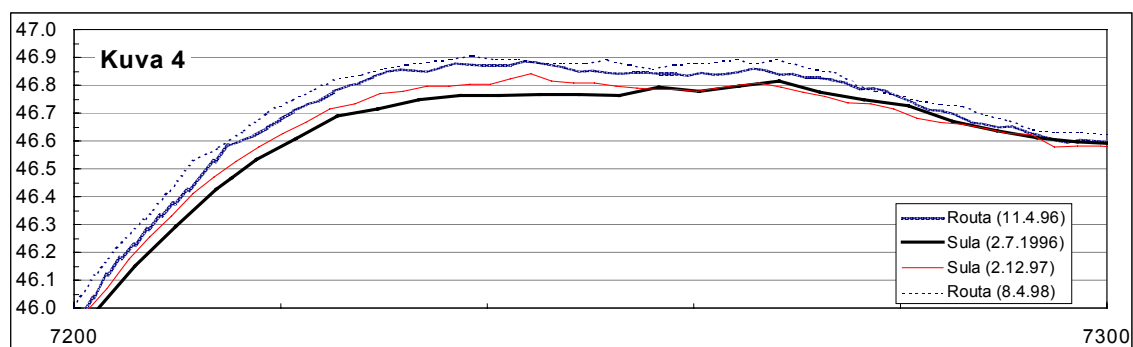
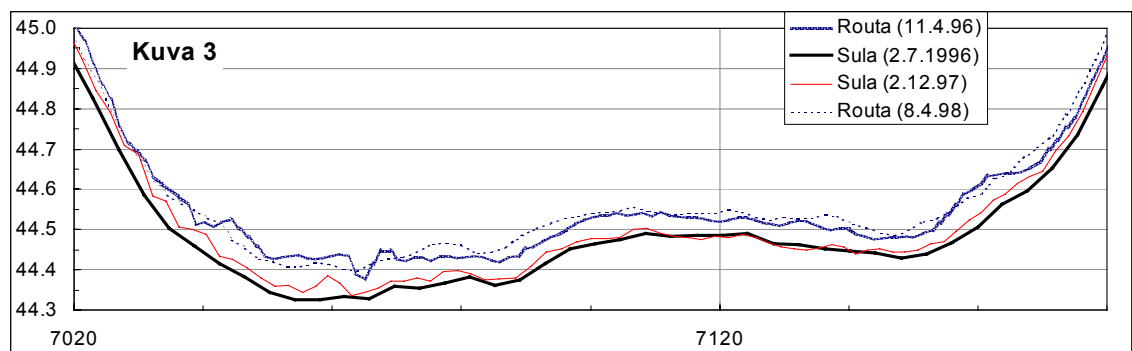
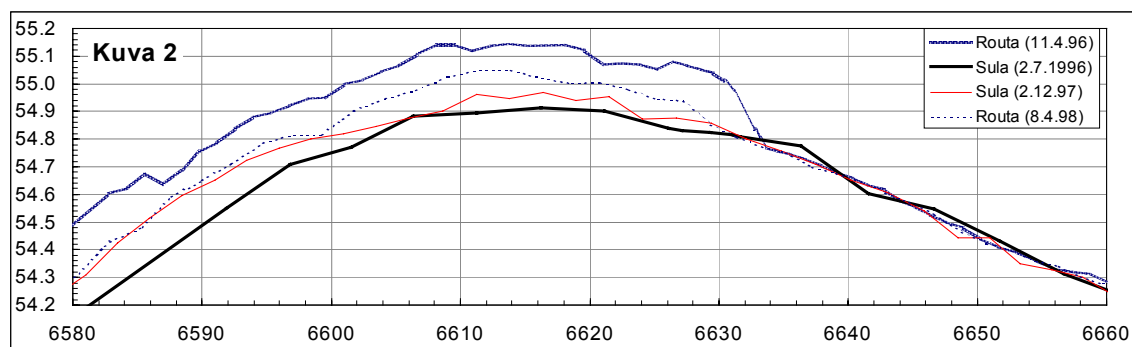
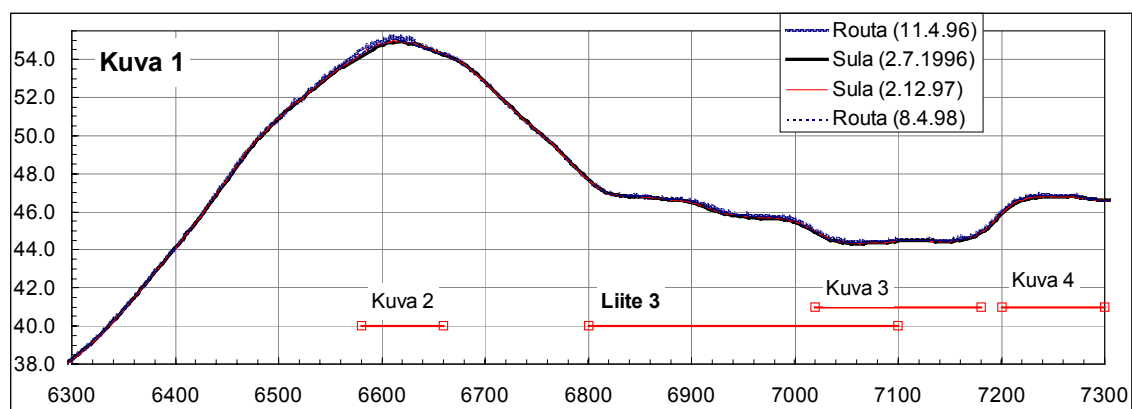
GPS-mittauksen mittauspisteiden välimatkat sekä routanousut neljällä rinnakkaisella mittauslinjalla ja routanousun liukuva keskiarvo 5:stä mittauksesta (kts. myös liite 1/2)



GPS-mittauksista lasketut routanousut vasemmalla ja oikealla ajokaistalla (vuoden 1998 GPS-mittauslinjat noin 0.7 m kl:sta) verrattuna seuraavana talvena (1999) vaihtuun routanousuun tien keskilinjaa.

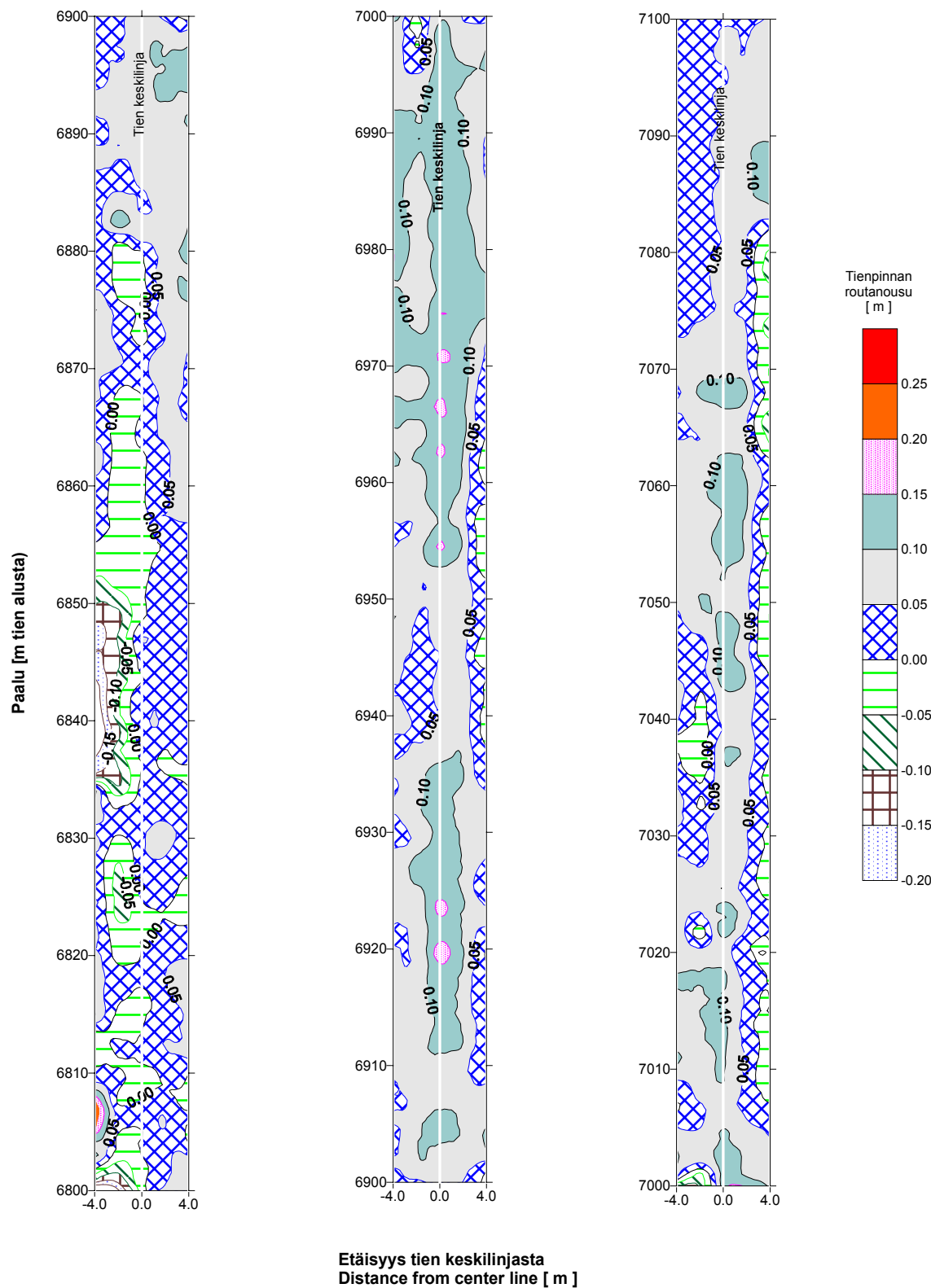


GPS:llä mitattuja tien keskilinjän pituusprofiileja sekä kolme yksityskohtaa niistä. Kaksi mittausta on tehty sulan maan aikaan (2.7.1996 ja 2.12.97) ja kaksi maksimi roudansyvyysden aikaan (11.4.96 ja 8.4.98).



Tien pinnan routanousun esittäminen tasa-arvokäyrästä. Mittaukset on tehty GPS-laitteistolla sulan maan aikaan ja maksimiroutanousun aikaan viittä rinnakkaista mittaussinjaa pitkin, joista keskilinjän tulokset liitteessä 2 (1996).

Mt 1324 LAHNUS - KLAUKKALA
Tien pinnan routanousu huhtikuussa 1996
Frost heave contours, april 1996



Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus

TPPT Menetelmäkuvaukset

TPPT *Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus*

Nro

- 17 Kuormituskestävyysmitoitus. Päällysrakenteen väsyminen
- 18 Tierakenteen routamitoitus
- 19 Tien jatkuvan painumaprofiilin laskenta pikselimallilla
- 20 Päällysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi
- 21 Mitoituksen lähtötietojen hankkiminen

TPPT *Menetelmäkuvaukset*

Nro

- 1 Pudotuspainolaitemittaus (PPL-mittaus)
- 2 Rakennekerrosmoduulien takaisinlaskenta sekä jännitysten ja muodonmuutosten laskenta
- 3 Liikennesuunnitelman laskeminen
- 4 Ilmastorasitus. Pakkasmäärän ja sulamiskauden pituuden määrittäminen
- 5 Routausmittauksen määrittäminen
- 6 Routausmittaus. Routausmittauksen (SP) kokeellinen määrittäminen
- 7 Routausmittauksen määrittäminen
- 8 Lämmönjohtavuuden määrittäminen
- 9 Sähköinen vastusmittaus tien painumalaskennan lähtötietojen hankkimisessa
- 10 Radiometrinen reikämittaus
- 11 CPTU - kairaus
- 12 Läpäisevän kerroksen määrittäminen painumalaskennan tarpeisiin
- 13 Tien rakennekerrostutkimukset
- 14 Routausmittauksen ja painuman mittaus
- 15 Tien vauriokartoitus ja vaurioiden kuvaus
- 16 Palvelutasomittaus (PTM) tien rakenteen parantamisen suunnittelussa