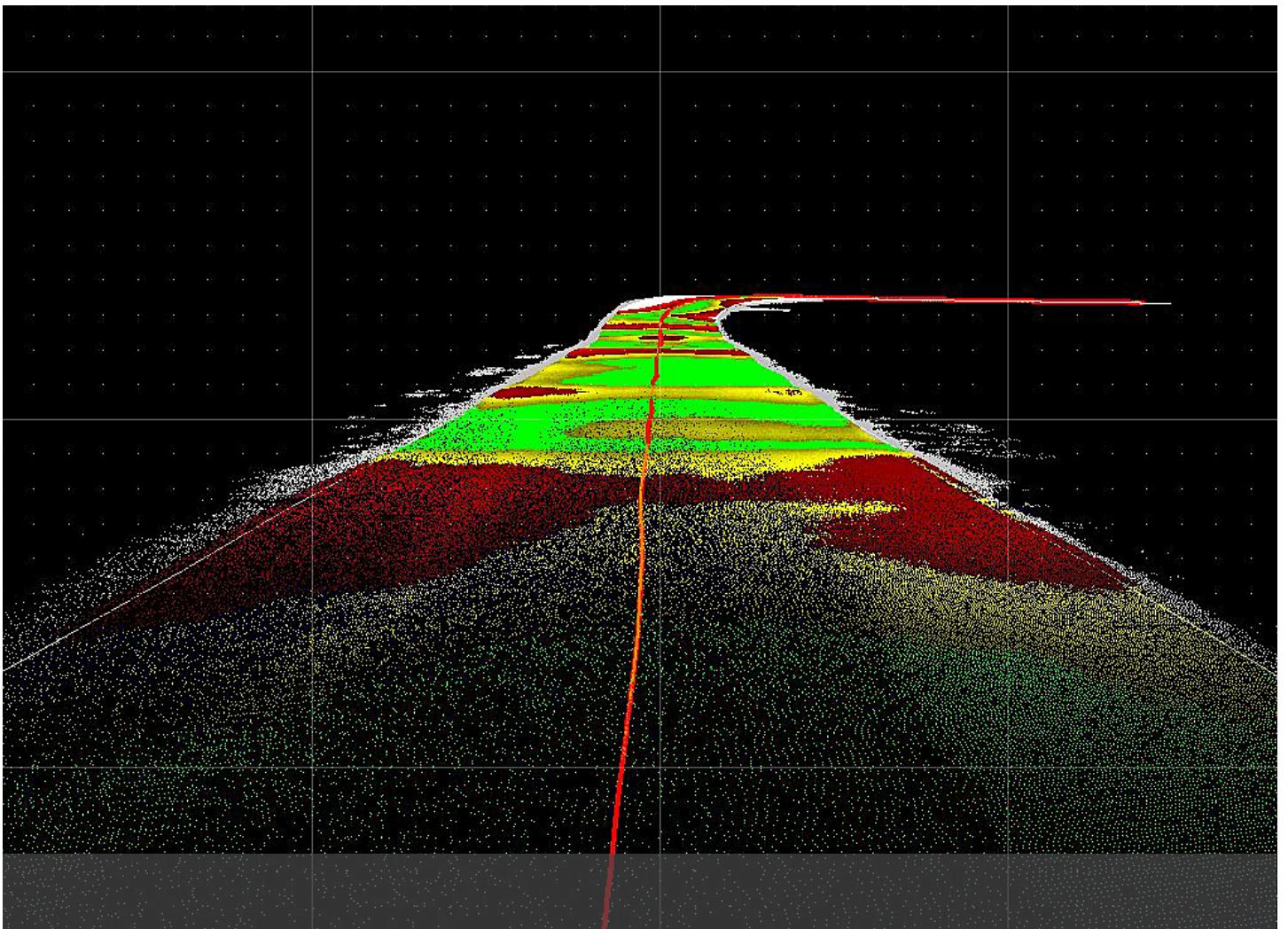


Ajoneuvolaserkeilauksen hyödyntäminen tien painumamittauksissa

31.12.2016



Ajoneuvolaserkeilaus tien painumamittauksessa

31.12.2016

Liikenneviraston ohjeita 15/2016

Liikennevirasto
Helsinki 2016

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-258-6

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Tekniikka ja ympäristö -osasto

Vastaanottaja
Liikennevirasto, ELY-keskukset

Kohdistuvuus
Liikennevirasto, ELY-keskukset

Voimassa
1.4.2017 alkaen

Asiasanat
Tiet, mittaus, ajoneuvot, laserkeilaus

Ajoneuvolaserkeilaus tien painumamittauksessa

Liikenneviraston ohjeita 15/2016

Tätä ohjetta käytetään mitattaessa tien pintaa ajoneuvolaserkeilauksella, muodostettaessa mittausaineistosta tien pintamalli ja määritettäessä pintamallista tien painuman tunnuslukuja. Ohjeessa on esitetty ajoneuvolaserkeilauksen eri menetelmiä. Muutkin menetelmät kuin ajoneuvolaserkeilaus ovat sallittuja tien painuman mittauksessa.

Ohjeen tavoitteena on yhtenäistää toimintatapoja, joilla ajoneuvolaserkeilaus toteutetaan erityisesti silloin, kun mittauksen tarkoitus on tienpinnan kokonaispainuman ja pituuskaltevuuden muutoksen suuruuden määrittäminen.

Ohjeen lisätietojen antajalle on ilmoitettava, kun tätä ohjetta käytetään.

Tekninen johtaja

Markku Nummelin

Väylärakenteenasiantuntija

Sami Petäjä

*Ohje hyväksytään sähköisellä allekirjoituksella.
Sähköisen allekirjoituksen merkintä on viimeisellä sivulla.*

LISÄTIETOJA
Sami Petäjä
Liikennevirasto
puh. 0295 34 3585

Esipuhe

Tähän ohjeeseen on koottu Liikenneviraston julkaisussa ”Ajoneuvolaserkeilaus tien painuman mittauksessa” tutkitut mittausmenetelmät. Ohjeen tarkoituksena on kuvata painumamittaukseen soveltuvat mittausmenetelmät sekä yhtenäistää ajoneuvolaserkeilauksen toimintatapoja. Ohjeen tilaajana toimi Liikennevirasto. Ohjeen laatimisesta vastasi Destia Oy.

Ohjeen sisällön tuottamisesta vastasivat Destia Oy:n Jussi Leinonen ja Heikki Onninen. Mukana Destia Oy:stä olivat myös Matti Laitinen ja Mika Jaakkola. Liikenneviraston puolesta vastuuhenkilönä toimi Sami Petäjä.

Helsingissä joulukuussa 2016

Liikennevirasto
Tekniikka ja ympäristö -osasto/Tietekninen yksikkö

Sisällysluettelo

MÄÄRITELMIÄ JA LYHENTEITÄ	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Tausta	7
1.2 Yleistä painumamittauksista.....	7
1.3 Laserkeilausteknologia.....	8
2 KÄYTETTÄVÄT LAITTEISTOT JA MENETELMÄT	9
2.1 Laadunvarmistus ja dokumentointi	9
2.2 Signaalointiin perustuva ajoneuvolaserkeilaus.....	9
2.2.1 Mittausprosessi	9
2.2.2 Signaalipisteen maalikuviokuva	10
2.2.3 Signaalipisteiden sijoittelu tiellä	11
2.3 RTK-tukiasemiin perustuva ajoneuvolaserkeilaus.....	11
2.4 Ajoneuvolaserkeilaus ilman signaalointia	11
2.5 Referenssimittaukset.....	12
2.6 Laitteistot.....	13
2.7 Mittauskohteen valinta/rajaaminen.....	13
3 MITTAUSTYÖ MAASTOSSA.....	14
3.1 Ajoneuvolaserkeilaus ja sen dokumentointi.....	14
3.2 Rakentamisen jälkeinen lähtötilanteen mittaus.....	15
3.3 Mittaus takuuajan lopussa.....	15
4 LOPPUTUOTTEEN VAATIMUKSET	17
4.1 Mittausaineiston jalostaminen painumatarkastelua varten.....	17
4.1.1 Aineiston kalibrointi ja kohdistus	17
4.1.2 Muodostettavat lopputuotteet.....	17
4.1.3 Lopputuotteiden tarkkuustaso	18
4.1.4 Dokumentointi	18
4.2 Mittaustulosten hyödyntäminen painuman suuruuden laskennassa	19
4.2.1 Aineiston esitysmuoto painumatarkasteluja varten.....	19
4.2.2 Tien painumien ja kaltevuudenmuutosten tarkastelun periaate.....	19
4.2.3 Painumia kuvaavien tunnuslukujen esittäminen	20
LÄHTEET	21
LIITTEET	
Liite 1	Esimerkki mittausraportista
Liite 2	Esimerkki mittaus- ja tulostenkäsittelyprosessin laadun arvioinnista kahden nollamittauksen vertailulla

Määritelmiä ja lyhenteitä

Jälkilaskenta	GNSS-paikannustiedon laskennallinen korjausmenetelmä, joka tehdään varsinaisen mittauksen jälkeen. Korjausdataa voidaan ladata eri palveluntarjoajien verkkopalveluista esimerkiksi VRS-muodossa.
DMI	<i>Distance Measuring Instrument</i> . Auton renkaaseen kiinnitettävä anturi, joka mittaa kuljettua matkaa ja auton kiihtyvyyttä.
PDOP	<i>Position Dilution of Precision</i> . Luku, kuvaa paikannuksen satelliittigeometrian vaikutusta. Mitä pienempi luku, sitä pienempi on satelliittigeometrian vaikutus paikannuksen tarkkuuteen. Yleisesti satelliittigeometriaan pidetään riittävän hyvänä, kun luku on alle 6.
RTK	<i>Real-Time Kinematic</i> . GNSS-paikannuksen tukiasema, joka parantaa paikannuksen sijaintia reaaliajassa.
VRS	<i>Virtual Reference Station</i> . Vituaalinen tukiasema, jota käytetään GNSS-paikannuksen sijainnin parantamiseen jälkilaskennan avulla.
Mittausperusta	Työmaan kiinteiden mittapisteiden muodostama verkko.
Kiintopiste	Kiinteästi maastoon merkitty piste, jonka sijainti tunnetaan tarkasti absoluuttisesti ja muihin pisteisiin nähden. Kiintopisteet muodostavat mittausperustan.

1 Johdanto

1.1 Tausta

Tässä ohjeessa on kuvattu ajoneuvolaserkeilauksella tehtävän tienpinnan mittausmenetelmät ja sen vaatimukset hyödynnettäväksi tien painuman mittausten hankinnassa. Ohje koostuu kolmesta osiosta: menetelmät ja laitteiston vaatimukset, mittauksen aikainen toiminta sekä lopputuotteen vaatimukset. Ohjeessa määritellyt vaatimukset perustuvat pääosin talvella 2015 valmistuneeseen tutkimukseen *Ajoneuvolaserkeilaus tien painuman mittauksessa (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2015)*.

Tämän ohjeen on tarkoitus yhtenäistää toimintatapoja, joilla ajoneuvolaserkeilaus toteutetaan erityisesti silloin, kun mittausten tarkoituksena on tienpinnan painuman suuruuden määrittäminen. Ajoneuvolaserkeilaus on verrattain uusi mittaustekniikka, joten nämä toimintatavat eivät ole ehtineet vakiintua. Tekniikan nopean kehittymisen myötä tämä ohje on pyritty laatimaan siten, että se antaa mahdollisuuden käyttää myös uusia, ohjeen ulkopuolisia menetelmiä. Uusien menetelmien toimivuus on osoitettava ennen niiden soveltamista painumamittauksiin.

Ajoneuvolaserkeilauksen on todettu tietyissä tapauksissa tarjoavan hyvän vaihtoehdon perinteisille mittauksille. Esimerkiksi tarkkavaaitus ja takymetrimittaus vaativat paljon maastotyötä vilkkaasti liikennöidyillä teillä. Tätä voidaan huomattavasti vähentää ajoneuvolaserkeilauksella. Lisäksi ajoneuvolaserkeilauksen suorituskyky on huomattavasti parempi kuin perinteisten mittausten. Yhdellä lyhytkestoisella mittauksella voidaan kartoittaa koko tieympäristö kolmiulotteisesti.

Mallinnus- ja analyysimenetelmien kehittyessä ajoneuvolaserkeilauksesta saatava mittaustieto mahdollistaa kattavamman painumien analysoinnin, kuin nykykäytännön mukainen muutamalta pituussuuntaiselta linjalta suoritettava mittaus.

1.2 Yleistä painumamittauksista

Rakennettavien teiden laatua ja vaatimustenmukaisuutta valvotaan rakentamisen jälkeen muun muassa seuraamalla tienpinnan painumista ja kaltevuuden muutoksia. Painuminen on yleistä ja merkittävää yleensä vain rannikkoseutujen syvillä savikoilla. Painuminen on hidas, usein kymmeniä vuosia kestävä ilmiö. Takuuajana (pituus yleensä muutamia vuosia) syntyvät painumat ja erityisesti tienpinnan kaltevuuden muutokset ovat suhteellisen pieniä, jolloin niiden havaitsemiseen tarvitaan riittävän tarkat mittausmenettelyt.

Tienpinnan painuman ja kaltevuuden muutoksen suuruudet lasketaan kahden mittauskerran tulosten erotuksena. Ensimmäinen mittaus tehdään heti rakentamisen jälkeen ja toinen yleensä takuuajan lopulla. Eri mittauskertojen mittaukset pitää kohdistaa niin, että niiden avulla voidaan tarkastella tarkalleen saman tiekohdan painumista. Virheellinen kohdistus voi johtaa siihen, että tulokset ovat käyttökeltottomia erityisesti, jos tien pituus- tai sivukaltevuus on suuri.

1.3 Laserkeilausteknologia

Laserkeilaus on mittaustekniikka, jolla voidaan mitata 3-ulotteista sijaintitietoa eli esimerkiksi rakennusten ja maaston x- y- ja z-koordinaatteja. Laserkeilaus perustuu laitteen lähettämän lasersäteen paluuheijastuksen analysointiin. Laserkeilausta voidaan tehdä staattisesti jalustalta, ilmasta tai mobiilisti, kuten autosta. Ajoneuvolaserkeilauksen yhteydessä puhutaan usein myös mobiilikartoituksesta, joka sisältää myös valokuvauksen.

Ajoneuvolaserkeilaus on viime vuosina nopeasti yleistynyt mittaustekniikka. Ajoneuvolaserkeilausta voidaan hyödyntää hyvin monipuolisesti infrastruktuurin suunnittelussa rakentamisessa ja ylläpidossa. Se käy esimerkiksi suunnittelun lähtötietojen hankintaan, rakentamisen aikaiseen massojen seurantaan sekä ylläpidon aikaiseen inventointiin. Ajoneuvolaserkeilausta voidaan hyödyntää, niin rata, kuin tieympäristössä.

Yksi käyttö esimerkki on lähtötietojen hankinta tien tasauksen ja päällysteen korjaukseen. Ajoneuvolaserkeilauksen avulla tien pinnasta saadaan tarkkaa tietoa, jolloin voidaan tarkasti suunnitella mistä kohtaa tietä korjataan tasaus massalla ja mistä jyrsimällä. Korjaus voidaan tehdä joko manuaalisesti tai koneautomaatiota hyödyntäen. Signalointia hyödyntävän laserkeilauksen tarkkuus on todettu riittäväksi koneautomaation käyttöä varten.

Toinen käyttö esimerkki on radan kunnossapitourakan inventointi. Radan laitteet ja ympäristön kunto, kuten riskipuut on mahdollista kartoittaa yhdellä mittauksella. Näin voidaan tuottaa tehokkaasti kattavaa aineistoa ja hyvinkin tarkkaa aineistoa.

Suomen markkinoille toimii muutamia palveluntarjoajia ja mittausajoneuvoja. Suomessa Geotrim Oy tarjoaa mobiilikartoitusta Trimblen laitteistolla, Nordic Scan Center Rieglin laitteistolla, Road Scanners Streetmapper-laitteistolla sekä Terratec Lynx Mobile Mapper -laitteistolla.

2 Käytettävät laitteistot ja menetelmät

2.1 Laadunvarmistus ja dokumentointi

Painumamittausprosessin laadunvarmistuksessa ja dokumentoinnissa sovelletaan samoja periaatteita, kuin Liikenneviraston ohjeessa *Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot* sekä Yleisissä inframallivaatimuksissa 2015 (YIV 2 015)

Laadunvarmistuksen lähtökohtana mittaus- ja mallinnusprosessissa on tuottajan sisäinen laadunvarmistus. Tällöin mittausaineiston tuottaja on vastuussa aineiston laadusta ja luotettavuudesta. Tilaaja seuraa ja varmistaa tuottajien toimittamien aineistojen laatua pääasiassa tuottajan toimittamalla dokumentoinnilla, jossa osoitetaan mittausten ja luovutettujen aineistojen vaatimustenmukaisuus.

Ajoneuvolaserkeilauksella tehtävässä painumamittauksesta dokumentointi koostuu maastomittauksista, mallinnuksesta sekä tarvittaessa myös painumatarkastelusta. Näistä osista muodostetaan mittausraportti. Kunkin osion sisältö on kuvailtu niitä käsittelevässä kappaleessa. Lisäksi raportista tulee käydä ilmi hankkeen perustiedot, kuten hankkeen nimi, tilaaja ja muut osapuolet sekä organisaatio. Huolellisesti tuotettu dokumentaatio luo pohjan mittausaineiston laadulle. Esimerkki tuotettavasta raportista on esitetty Liitteessä 1.

2.2 Signaalointiin perustuva ajoneuvolaserkeilaus

2.2.1 Mittausprosessi

Signaalointia hyödyntävässä ajoneuvolaserkeilauksessa mittalaitteen paikannus tehdään suoraan satelliiteista ja mittauksen jälkeen paikannusdata jälkikäsitellään GNSS-tukiasemista saatavan tiedon avulla. Mittauksen aikana käytetään virtuaali- tai RTK-tukiasemia GNSS-paikannustiedon tarkentamiseen. Paikannustiedolle tehdään jälkiprosessointi ja mitattu pistepilvi georeferoidaan koordinaatistoon. Mittauksen tuloksena saadun pistemallin tarkkuutta parannetaan vielä hyödyntämällä signaalointia.

Signaalointia hyödyntävä ajoneuvolaserkeilaus koostuu seuraavista vaiheista:

1. Signaalien rakentaminen
2. Signaalien mittaaminen
 - a. Tasokoordinaatit
 - b. Korkeus
3. Laserkeilaus ajoneuvolla
4. Aineiston prosessointi

Ennen laserkeilausta tien päällysteen reuna-alueille maalataan esimerkiksi valkoisia maalikuvioita. Maalikuviot mitataan joko tarkkavaaituksella tai takymetrimittauksena.

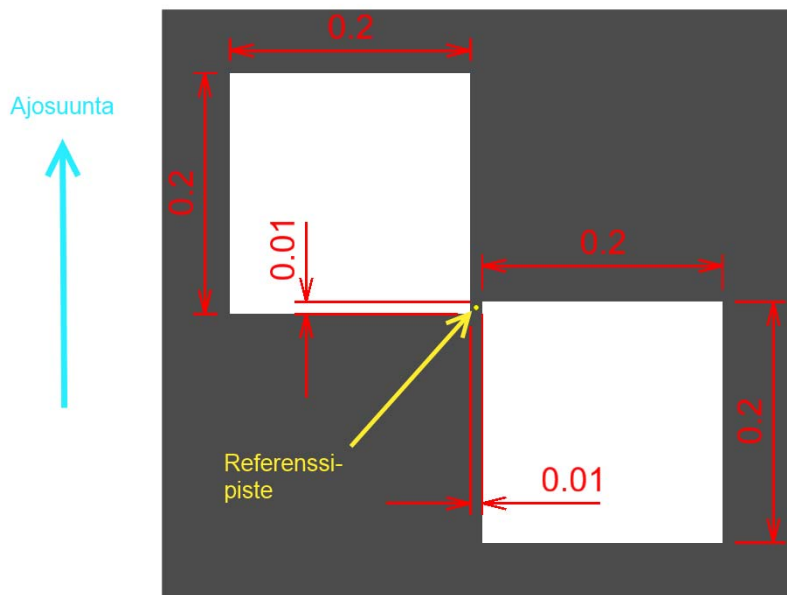
Tämän tiedon avulla pistepilvi voidaan sovittaa edelleen tarkemmin koordinaatistoon. Takymetri- tai tarkkavaaitus-mittauksen vaatimukset on esitetty kappaleessa 2.4.

Ajoneuvolaserkeilauksen aikana paikannusjärjestelmä kerää paikannustietoa suoraan GNSS-satelliiteista. Samalla myös järjestelmän inertia-yksikkö kerää tietoa laitteen asennosta ja kiihtyvyydestä sekä DMI-yksikkö auton liikkeistä. Mittauksen jälkeen suoritetaan aineiston prosessoinnin ensimmäinen osa eli niin sanottu *jälkilaskenta*, jossa tiedot yhdistetään ja tuloksena syntyy ns. ajorataratkaisu. Pistepilvi sidotaan ajorataratkaisuun, jolloin sen absoluuttinen tarkkuustaso määräytyy sen mukaan. Tarkkuus voi olla jo tässä vaiheessa parhaimmillaan 1 cm tasoa, mutta se riippuu hyvin paljon paikannusolosuhteista. Käytännössä esimerkiksi metsäisellä tiellä tarkkuus liikkuu 5–10 cm tasolla. Kun pistepilvi edelleen sovitetään koordinaatistoon signaalien avulla, päästään 1–2 cm tarkkuustasolle riippuen signaalipisteiden tiheydestä niiden mittausmenetelmästä sekä sovittukseen käytetystä ohjelmistosta.

Aineiston prosessoinnin toisena osana muodostetaan halutut lopputuotteet, kuten taitteiviivat ja pintamallit.

2.2.2 Signaalipisteen maalikuvio

Signaalikuvion toiminta perustuu siitä heijastuvan lasersäteen intensiteettieroon verrattuna ympäröivään päällysteeseen. Maalikuviossa tulee olla selkeästi erottuva referenssipiste, jonka tasosijainti mitataan takymetrimittauksena kartoittamalla ja korkeusasema mitataan tarkkavaaitsemalla kappaleen 2.4 mukaisin vaatimuksin. Hyväksi todettu maalikuvio on esitetty kuvassa 1. Signaalin koko ja muoto voivat kuitenkin vaihdella. Signaalikuvio tulee kuitenkin suhteuttaa laserkeilaimen taajuudesta ja ajonopeudesta muodostuvaan pistetiheyteen siten, että kuvio on erotettavissa pistepilvestä.



Kuva 1. Signaalikuvio, yksiköt metrejä (m).

2.2.3 Signaalipisteiden sijoittelu tiellä

Signaalipisteet tulee sijoittaa oikeaoppisesti lopputuotteen laadun varmistamiseksi. Sijoittelussa käytetään seuraavia periaatteita:

- Signaalit tien molemmille reunoille maksimissaan 200 m päähän toisistaan
- Mahdollisuuksien mukaan maalaus pientareen puolelle,
- Signaalipisteiden kohdistaminen siten, että signaali tulee aina potentiaalisen painuman kohdalle (lähelle pehmeikköalueen reunoja) tai selkeän katveen, kuten mitattavan tien ylittävän sillan alle,
- Signaalipisteistön paikallinen tihentäminen tarvittaessa, jos kaikkia katveja ei voida ottaa huomioon kohdistamisella.

2.3 RTK-tukiasemiin perustuva ajoneuvolaserkeilaus

Toinen laserkeilauksen painumamittaukseen soveltuva menetelmä on käyttää paikannustiedon keräämiseen RTK-tukiasemia. Tämän menetelmän etuna on, että manuaaliset maastomittaukset vähenevät edelleen. Mittausprosessi etenee seuraavasti:

1. Tukiasemien pystytys kiintopisteille,
2. Laserkeilaus ajoneuvolla,
3. Aineiston prosessointi.

Laserkeilatulle pistepilvelle lasketaan tarkka ajorataratkaisu jälkikäsittelemällä RTK-tukiasemien kautta kerätty paikannusdata. Tällä menetelmällä päästään samalle tarkkuustasolle, kuin 200 m signaloinnilla.

Tukiasemat tulee aina sijoittaa liikkumattomille kiintopisteille. Kiintopisteinä voidaan käyttää referenssimittausten mukaisia kiintopisteitä (kappale 2.4).

Tukiaseman etäisyys potentiaalisesta tai tunnetusta painumasta on maksimissaan 1 km. Pistepilven sijainnin tarkastus tehdään mittaamalla tarkastuspoikkileikkauksia yksi (1) kappale jokaiselta pehmeiköltä tai 2 kpl/km pitkältä pehmeiköltä. Tarkastusmittaukset tehdään kappaleen 2.4 mukaisesti. Pistepilven sijaintia voidaan tarkastella myös pistepilvestä erottuvien, kiintopisteille sijoitettujen tukiasemien avulla.

2.4 Ajoneuvolaserkeilaus ilman signalointia

Ajoneuvolaserkeilaus voidaan suorittaa myös kevennetysti ilman signalointia tai RTK-tukiasemia. Kevennetty ajoneuvolaserkeilaus voidaan suorittaa samoilla periaatteilla kuin signaloitu, mutta jättämällä signalointi ja referenssimittaukset huomioimatta. Varsinaisen laserkeilauksen suoritus on kuvattu tämän ohjeen kappaleessa kolme (3).

Ilman signaaleja tai RTK-tukiasemia suoritettavan ajoneuvolaserkeilauksen lopputuotteen georeferoinnin tarkkuus riippuu ainoastaan mittaushetken satelliittipaikannuksen laadusta. Paikannukselle suoritetaan jälkikäsitteily GNSS-tukiasemista saatavan tiedon avulla vastaavaan tapaan kuin signaloidussa mittauksessa.

Kevennetysti suoritettujen ajoneuvolaserkeilausten tarkkuus ei riitä tien absoluuttisen painuman määrittämiseen. Vuonna 2014 suoritettujen pilotin perusteella tarkkuus voi poiketa todellisesta paikallisesti jopa kymmeniä senttimetrejä. Esimerkiksi sillan alittaminen aiheuttaa aineiston tarkkuuteen huomattavan poikkeaman. Menetelmää voidaan kuitenkin käyttää tien suhteellisten muotojen, kuten sivu- ja pituuskaltevuuksien analysointiin. Signaloitu ja signaloimaton pintamalli eivät poikkea juurikaan toisistaan kaltevuuksien suhteen. (Leinonen, Jaakkola, Onninen 2015)

2.5 Referenssimittaukset

Kaikki ajoneuvolaserkeilaukseen liittyvät tuki- ja referenssimittaukset tehdään julkishallinnon suositusten mukaisesti. Sovellettavat suositukset ovat JHS 184, Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä ja JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen.

Kiintopisteet:

Tasokoordinaattimittauksen lähtöpisteet tulee olla vähintään JHS 184 6-luokan mukaisia käyttöpisteitä, joiden perusteella mitataan laserkeilausreferenssipisteet maastoon.

Korkeuden mittauksessa käytettävät lähtöpisteet tulee olla vähintään JHS 185 liite 1 linjavaa'ituksen tarkkuusvaatimukset täyttäviä käyttöpisteitä.

Laserkeilausreferenssipisteet (signaalipisteet) mitataan lähtöpisteiltä määrävällein esim. 200 m.

Tasokoordinaattien tarkkuus:

Tasokoordinaattipisteet mitataan takymetrillä kartoitusmittauksena lähtöpisteiltä tai käyttäen vapaan kojeaseman menetelmää, siten että kartoitetut pisteet sijaitsevat lähtöpisteiden välisellä alueella. Takymetrin orientointi tulee tarkistaa ja mittaustulos dokumentoida kartoitusmittauksen jälkeen. Mikäli orientointisuunnassa on yli 1 cm poikkeama mittauksen aloitussuuntaan, kartoitus on uusittava.

Korkeustarkkuus:

Maastoon vaaittavien referenssipisteiden tulee täyttää JHS 185, liite 1 linjavaa'ituksen tarkkuusvaatimukset sulkuvirheiden osalta.

Tarkkuusvaatimus: $10 \text{ mm} \times \sqrt{L}$, (L= vaaitusjonon pituus km)

Laaduntarkkailupisteet:

Laserkeilattavalta tien pinnalta voidaan määrittää takymetrillä mitattavia ilman signaalia olevia pisteitä, joiden takymetrillä mitattua tai vaaittua korkeutta voidaan verrata laserkeilausaineistosta saatavaan korkeuteen.

2.6 Laitteistot

Julkaisussa *Ajoneuvolaserkeilaus tien painuman mittauksessa (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2015)* testattiin kaksi laitetta ja ne molemmat todettiin soveltuviksi painumamittaukseen. Nämä laitteet olivat

- Trimble MX8
- Riegl VMX-450

Painumamittauksessa on mahdollista käyttää myös muita vastaavan suorituskyvyn omaavia laitteita. Laitteen suorituskyky koostuu laserkeilaimista sekä paikannus- ja inertiajärjestelmistä.

2.7 Mittauskohteen valinta/rajaaminen

Tien rakentamisen jälkeen tehtävä ns. nollamittaus tehdään yleensä kattavampana kuin takuuajan lopulla tehtävä painumanseurantamittaus. Tapauskohtaisesti nollamittaus voidaan tehdä joko rakennuskohteen koko pituudelta tai vain erikseen valittavilta, painuma-alttiilta tieosuuksilta. Mitattavat kohteet määrittelee tien geotekninen suunnittelija ottaen huomioon rakennuttajan määrittelemät painumakriteerit sekä tien perustamisolosuhteet ja perustamistavat.

Painumaseurantamittaukset kohdistetaan joko kattavasti samoille alueille kuin nollamittauksetkin tai vain niille alueille, joilla silmämääräisen tarkastelun perusteella on nähtävissä painumista tai kaltevuudenmuutoksia, jotka saattavat ylittää kyseisen tien painumakriteerit.

3 Mittaustyö maastossa

3.1 Ajoneuvolaserkeilaus ja sen dokumentointi

Ajoneuvolaserkeilaus tulee suorittaa oikeanlaisissa olosuhteissa sekä tietyin menetelmin. Seuraavat asiat ottaa huomioon laserkeilauksen aikana:

- Ajoreitti: jokainen tiekohteen kaista tulee laserkeilata erikseen
- Ajonopeus: mittaus tulee tehdä tasaisella nopeudella ja pysähtymisiä tulee välttää. Nopeus tulee valita laserkeilainten taajuuden mukaan siten, että saavutetaan riittävä pistetiheys.
- Sää ja olosuhteet: tien pinnan tulee olla puhdas ja kuiva mittaushetkellä
- Ajankohta: Kun mitataan tien rakenteellista painumaa, mittaus tehdään ajankohtana, jolloin maaperän routa on täysin sulanut. Mittaus voidaan tehdä myös yöllä, mikäli valokuvia ei tarvitse hyödyntää erikseen.
- Paikannus: Laserkeilausjärjestelmän operaattori seuraa mittauksen aikana järjestelmän paikannuksen tarkkuustasoa ja laatua.

Ajoneuvolaserkeilauksen kuljettajan ja operaattorin on mittauksen aikana seurattava ja arvioitava mittauksen häiriötekijöitä. Mikäli häiriötekijät kasvavat liian suuriksi ja mittauksen laatu kärsii liikaa, on mittaus uusittava. Tällaisia häiriöitä voivat olla esimerkiksi mittauksen aikana käynnistynyt voimakas sade tai tien päällysteen pinnan peittävä odottaman lika. Häiriötekijöiden määrä tulee minimoida hyvällä ennakkosuunnittelulla.

Häiriötekijöihin lukeutuvat myös paikannuksen häiriöt. Aiempi kokemus osoittaa, että aina ei välttämättä ole esimerkiksi satelliitteja saatavilla odotettua määrää, jolloin mittauksen tarkkuus kärsii. Mittauksen operaattorin tulee arvioida, onko paikannuksen taso riittävä ja joudutaanko mittaus mahdollisesti uusimaan tai joudutaanko sitä tukemaan esimerkiksi takymetrimittauksin. Mittauksen uusimiselle ei voida antaa tarkkaa määritelmää tällä hetkellä käytössä olevan tutkimustiedon perusteella. Muuttujia on paljon ja samat raja-arvot eivät päde eri kohteille, kuten metsälle ja aukealle.

Paikannuksen häiriötekijöitä voidaan myös vähentää hyvällä suunnittelulla. Satelliittien näkyvyyksistä sekä PDOP-arvoista on saatavilla ennusteita, joiden avulla voidaan arvioida mittaushetken paikannusolosuhteita. Näiden ennusteiden avulla mittaus voidaan ajoittaa parhaaseen mahdolliseen hetkeen.

Yksittäisiä paikannuskatveja voi tukea mittaamalla korkoja tien pinnasta kappaleen 2.4 mukaisesti ja käyttämällä niitä pistepilven säätöön signaalipisteiden tavoin.

Ajoneuvolaserkeilauksesta muodostetaan mittausraportti, josta tulee käydä ilmi seuraavat asiat:

- Kohteen tiedot, hankkeen nimi (rakennussuunnitelman mukaisena), tierekisteriosoite
- Mittauksen ajankohta
- Käytetty laitteisto
- Mittauslaitteiston operaattori sekä ajoneuvon kuljettaja
- Sää ja olosuhteet, esimerkiksi tienpinnan mahdollinen kosteus

- Keskimääräinen ajonopeus
- Ajoreitti eli mitä on keilattu, esimerkiksi kaistat erikseen ja risteävät tiet
- Mittauksen aikana mahdollisesti ilmenneet häiriötekijät ja niiden aiheuttamat toimenpiteet
- Mittauksen aikaisen paikannuksen laatu: RTK:n avulla tehdyn mittauksen osalta esitetään laitteiston tuottama paikannuksen tarkkuusarvio x- y- ja z-koordinaateille suhteessa kohteen paalulukemaan. Signaalointia hyödyntävän menetelmän osalta esitetään paikannuksen jälkikäsitteilyn myötä muodostettu tarkkuusarvio.

3.2 Rakentamisen jälkeinen lähtötilanteen mittaus

Välittömästi tien rakentamisen valmiustuttua tehtävä lähtötilanteen mittaus eli niin sanottu nolla-mittaus tulee suorittaa kaksi kertaa. Mittaukset voidaan suorittaa yhdellä kertaa, mutta aineiston prosessointivaiheessa kahta eri ajokertaa tulee käsitellä kahdena erillisenä pistepilvenä ja pintamallina.

Kaksi kertaa suoritettava laserkeilaus toimii tässä tapauksessa laadunvarmistusmenetelmänä. Nolla-mittauksen on onnistuttava mahdollisimman hyvin, koska sitä voidaan hyödyntää vasta vuosien päästä, jolloin mittausta ei voida enää uusia. Virheellinen mittaus voi aiheuttaa urakoitsijalle suuria kustannuksia.

Kaksi kertaa mittaamalla mittaaaja voi jo mittauksen aikana arvioida kumpi mittauksista oli paikannuksen kannalta parempi. Kahta mittausta vertailemalla voidaan tunnistaa mittauksen ongelmakohdat, joita voidaan tarvittaessa tukea muilla mittauksilla. Viimeistään paikannuksen jälkikäsitteilyssä mittaaaja voi erilaisin tunnusluvuin arvioida kumpi mittauksista oli parempi ja valita kyseisen aineiston jatkokäyttöön.

Myös nolla-mittauksen dokumentoinnissa tulee noudattaa huolellisuutta. Nolla-mittaus on pystyttävä dokumentoinnin perusteella toistamaan mahdollisimman samalla tavalla vuosien päästä painumaseurannassa. Esimerkiksi tien reunalinja on voinut muuttua viidessä vuodessa, jolloin voi olla käytännöllisempää lukea pintamallin korot vakio etäisyydeltä keskilinjasta. Tällöin ne voidaan varmuudella lukea samasta kohtaa viiden vuoden kuluttua.

3.3 Mittaus takuuajan lopussa

Tie on mitattava rakentamisen takuuajan päätyttyä uudestaan painumien analysoimiseksi. Tavoitteena on tuottaa rakentamisen jälkeisen lähtötilanteen suhteen mahdollisimman vertailukelpoinen aineisto. Pääperiaatteiltaan mittaus suoritetaan samaan tapaan kappaleissa 2 ja 3.1 on kuvattu, mutta muutamia erityispiirteitä on huomioitava vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi. Takuuajan lopun mittauksessa ja aineiston prosessoinnissa on huomioitava:

- mittausperustan tarkastaminen/uusiminen,
- signaalien uudelleen mittaus ja rakennus,
- päällystystyöt,

- tielinjalla tehdyt muutostyöt ja
- vertailukorkojen lukeminen samoista koordinaateista kuin lähtömittauksessa.

Kun mittaus tehdään signaaleita tai RTK-tukiasemia hyödyntäen, mittausperustan kunto on varmistettava. Käytettäessä samoja kiintopisteitä, kuin lähtömittauksessa, pisteiden sijainti on tarkastettava ennen laserkeilauksen suoritusta. Mikäli kiintopisteet ovat esimerkiksi painuneet, se tulee ottaa huomioon tuloksia käsiteltäessä. Kiintopisteitä on voinut vuosien aikana myös tuhoutua esimerkiksi tiellä tehtävien kunnossapitotoimenpiteiden seurauksena. Tällöin kiintopiste on rakennettava ja mittausperustaa täydennettävä kappaleen 2.5 mukaisesti.

Lähtömittauksessa tehtyjä signaalipisteitä voidaan käyttää, mikäli ne ovat säilyneet, mutta ne on kuitenkin mitattava uudelleen. Jos signaalit on alun perin vain maalattu päällysteeseen, niin on suositeltavaa tehdä maalaus uudelleen, koska tuore maalipinta erottuu helpommin aineistosta.

Varsinkin vilkkaasti liikennöidyillä teillä on mahdollista, että tietä päällystetään lähtömittauksen ja takuuajan lopun välissä. Päällystyksen aiheuttamat korkeuden muutoksen on huomioitava aineistojen analysointivaiheessa. Uudet päällystekerrokset nostavat tien pintaa, jolloin painumat takuuajan lopussa voivat näyttää todellista pienemiltä, mikäli uusia kerroksia ei huomioida.

Mitatulla tiellä ja sen ympäristössä on voitu tehdä myös muita muutostöitä, jotka vaikuttavat aineistojen vertailuun. Näitä voivat olla esimerkiksi takuu aikaan liittyvät korjaukset. Tehdyt muutostyöt täytyy selvittää ennen lähtötilanteen ja takuuajan lopun mittausten vertailua, jotta voidaan arvioida aineistojen vertailukelpoisuutta.

Lähtötilanteen mittauksesta on luettu korkoja esimerkiksi viiden metrin välein tien keskilinjaa pitkin. Takuuajan lopun mittauksessa vertailukorot on luettava mittaus-tarkkuuden sallimissa rajoissa mahdollisimman samoista x,y-koordinaateista, kuin alkuperäiset korot. Tällöin korot ovat mahdollisemman vertailukelpoisia.

4 Lopputuotteen vaatimukset

4.1 Mittausaineiston jalostaminen painuma- tarkastelua varten

4.1.1 Aineiston kalibrointi ja kohdistus

Varsinaisen mittauksen ja alkuprosessoinnin jälkeen eri ajolinjojen/-kaistojen pistepilvet voivat poiketa toisistaan paikannuksesta ja menetelmästä riippuen jopa kymmeniä senttimetrejä. Ennen lopputuotteiden tuottamista eri ajolinjojen aineistot tulee yhdistää siten, että aineisto on homogeenista.

Pistepilvien yhdistäminen tehdään havaitsemalla pistepilvistä erilaisia objekteja, kuten signaalipisteitä, maaliviivoja sekä tasaisia pintoja. Mikäli laserkeilauksessa on käytetty signalointia, pistepilvi myös sidotaan tarkasti niiden avulla koordinaatistoon tässä vaiheessa.

4.1.2 Muodostettavat lopputuotteet

Georeferoiduista pistepilvistä muodostetaan pintamalli, josta tien korkoja voidaan lukea, sekä taiteviivat korkojen lukemisen kohdistamista varten:

- Tien keskilinja, koodi 121. Keskilinja toimitetaan sekä 3D-muodossa dwg- tai IM3-formaatissa että taulukoituna xls- tai txt-formaatissa, johon on määritetty myös linjan paalutus metreinä. Paalutuksen tulee vastata mahdollisen rakennussuunnitelman paalutusta.
- Tien reunaviivat. Reunaviiva voi olla koodin 292 mukainen maaliviiva tai hankekohtaisesti erikseen määritelty, vakioetäisyydellä keskilinjasta. Reunaviivat toimitetaan sekä 3D-muodossa dwg- tai IM3-formaatissa että taulukoituna xls- tai txt-formaatissa, johon on määritetty myös linjan paalutus metreinä. Reunaviivojen paalutus tulee vastata keskilinjan paalutusta.
- Päällysteen pintamalli, koodi 1 (1. luokan kolmiopiste), tiedostomuoto LAS 1.2 tai tielaitosformaatti (gt).

Koodaus perustuu Liikenneviraston ohjeeseen: Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot [2]. Kaikki aineistot sidotaan ETRS-GK-koordinaattijärjestelmään ja N2000-korkeusjärjestelmään.

Tulosten käytön helppoutta silmällä pitäen mittaustulokset pitää alusta alkaen sitoa mahdollisen tien rakennussuunnitelman paalutukseen. Tällöin kahta eri ajankohtana tehtyä mittausta on helpompaa vertailla keskenään. Painumien sijainti on myös helpompi havainnollistaa paalutuksen avulla.

Toimittajan on suoritettava aineistolle visuaalinen tarkastus esimerkiksi karkeiden virheiden, kuten muusta pinnasta poikkeavien korkeuksien varalta. Visuaalinen tarkastus voidaan tehdä esimerkiksi kolmioiden ja poikkileikkausten avulla.

Tuotettavat tiedostot tulee nimetä selkeästi siten, että nimestä käy ilmi tiedoston keskeinen sisältö ja sen ominaisuudet.

Esimerkiksi: *Päällysteen_pinta_Vt5_Mikkeli_ETRS-GK27.las*
Keskilinja_Vt5_Mikkeli_ETRS-GK27.dwg

4.1.3 Lopputuotteiden tarkkuustaso

Ajoneuvolaserkeilauksella tehtävien painumaseurantamittausten tarkkuus ja eri aikoina tehtävien mittausten vertailukelpoisuus riippuu monesta eri tekijästä. Hyvä käsitys mittausten toimittajan kyvystä tuottaa riittävän hyvälaatuista mittaustietoa saadaan, kun nollamittaus tehdään kahteen kertaan, ja niistä saatavista tuloksista lasketaan tien pituuskaltevuuden kulmamuuтокsista metrin välein määritetyistä mittauspisteistä. Liitteessä 4 on esimerkki kahden hyvissä olosuhteissa laserkeilauksella tehdyn ”nollamittauksen” eroista.

Eriluokkaisille teille normaalisti sallittavat painumat vaihtelevat välillä 160–640 mm (ST-tuotevaatimusmalli 2014). Painuman mittaamisessa yksittäisen mittauspisteen korkeudenmäärityksen tarkkuus ei ole määräävä, mutta mittaustulosten perusteella pitää pystyä jollakin tietyllä luottamustasolla kertomaan ylittykö jonkin tiekohdan sallittu painuma vai ei.

Liitteen 4 kuvista L4.2–L4.4 nähdään, että testikohteella kahden samana päivänä tehdyn mittauksen välinen korkeusero vaihtelee välillä ± 20 –30 mm. Vähintään tähän tarkkuustasoon pitää päästä kaikissa painumaseurantamittauksissa.

Tien painumanopeudelle sallittavat raja-arvot ovat 9–36 mm vuodessa (ST-tuotevaatimusmalli, luonnos 2014). Yleensä painumanopeus määritetään 2 vuoden välein tehtävien mittausten mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että laserkeilauksella tehtävien mittausten tarkkuus ei ole riittävä tien painumanopeuden määrittämiseen, kun mittausten väli on kaksi vuotta. Sen sijaan viiden vuoden aikajänne on riittävä.

Liitteen 4 kuvissa L4.5 ja L4.6 esitetään myös testikohteen mittaustuloksista kohdan 4.2.2 mukaan laskettuja tien keskilinjän pituuskaltevuuden muutoksia. Kaltevuuden muutoksen laskennassa käytetystä jännevälisestä (L) riippuen tienpinnan pituuskaltevuuden muutokset saatiin määritettyä $\pm 0,2$ ja $\pm 0,1$ prosenttiyksikön tarkkuudella (kuvat L4.7a ja b). Vähintään tähän saman tarkkuustasoon pitää päästä kaikissa painumaseurantamittauksissa.

4.1.4 Dokumentointi

Mittausaineiston jalostamisesta dokumentoidaan seuraavat asiat:

- aineiston prosessoinnin päävaiheet ja periaatteet,
- käytetyt ohjelmistot ja niiden versiot,
- aineiston sisältö sekä tuotetut tiedostot ja niiden formaatit,
- koordinaatistot ja korkeusjärjestelmät,
- laadunvarmistustoimenpiteet,
- mahdolliset puutteet tai poikkeamat esimerkiksi lopputuotteen tarkkuudessa.

4.2 Mittaustulosten hyödyntäminen painuman suuruuden laskennassa

4.2.1 Aineiston esitysmuoto painumatarkasteluja varten

Yleensä painumaseurannan tulokset pitää esittää tien rakennussuunnitelman paalutukseen sidottuna. Pelkkä xy-koordinaattitieto ei ole riittävän käyttökelpoinen, sillä painumatuloksia pitää voida verrata erilaisten rajakohtien sijaintiin. Paalulukeman avulla voidaan tunnistaa mm. mihin maaperäolosuhteisiin tai mihin tien pohjanvahvistustapaan havaitut painumaongelmat liittyvät. Esimerkki aineiston muodosta on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Esimerkki jalostettujen mittaustulosten esittämistavasta.

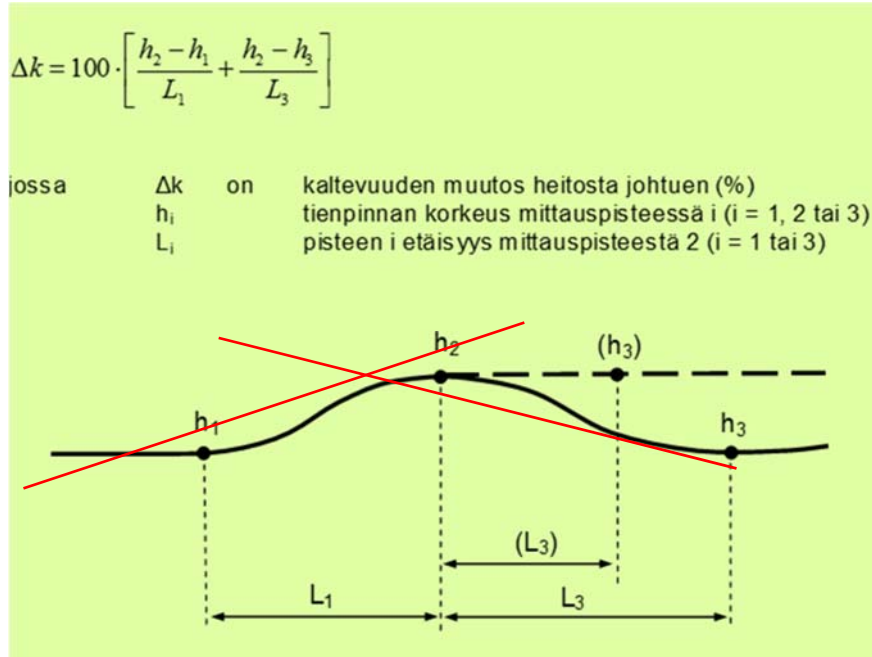
Suunnitelman paalulukema	X	Y	Z, nolla1 pp.kk.vvv1, klo 9:00	Z, nolla2 pp.kk.vvv1, klo 14:30	Z, seuranta pp.kk.vvv2, klo 7:50
500	473050,0	6711983,510	32,898	32,916	
501	473050,6	6711982,689	32,859	32,875	
502	473051,18	6711981,868	32,821	32,837	
503	473051,78	6711981,000	32,784	32,804	
504	473052,3	6711980,171	32,750	32,769	
505	473052,8	6711979,342	32,715	32,738	

4.2.2 Tien painumien ja kaltevuudenmuutosten tarkastelun periaate

Ajoneuvolaserkeilauksella tehtävien tien painumamittausten tulosten tarkastelu- ja analysointitapa ei ole vielä vakiintunut. Kuvassa 2 esitetään eräs tapa, jota on käytetty perinteisillä tavoilla (vaaitus/takymetrimittaus) mitattujen tienpinnan kaltevuudenmuutosten tarkasteluissa.

Laskennallisen kaltevuudenmuutoksen suuruus (lukuarvo) riippuu mm. siitä, kuinka pitkältä matkalta se määritetään (matkat L1 ja L3 kuvassa 2). Yleensä on tarkoituksenmukaista tehdä tarkastelut siten että L1 ja L3 ovat yhtä suuret.

Kaltevuuden muutos on kuvan 2 punaisten viivojen kaltevuuksien itseisarvojen summa ja se ilmoitetaan yleensä prosentteina, kuten tienpinnan kaltevuudetkin. Kaltevuudenmuutos lasketaan jokaisessa mittauspisteessä. Yhden metrin välein laskettavat kaltevuuden muutokset voidaan esittää tien mittapaalutukseen sidottuna kuvaajana, kuten liitteen 4 kuvissa L4.3-L4.6 on tehty.



Kuva 2. Tien kaltevuudenmuutos valitussa tiekohdassa eli tarkastelupisteessä (kuvassa piste, jonka korkeus on h_2), joka voi olla joko korkeammalla tai alempana suhteessa kahteen muuhun pisteeseen (korkeudet h_1 ja h_3). Kulma muutos on nolla, jos $h_1 = h_2 = h_3$.

4.2.3 Painumia kuvaavien tunnuslukujen esittäminen

Tien pinnan painumaan suuruus määritetään kahtena eri ajankohtana mitatun korkeustason erotuksena. Lisäksi painuneen tienpinnan muodosta voidaan laskea erilaisia tunnuslukuja. Tunnuslukujen määrittäminen ja esittäminen eivät kuulu mittausten toimittajan tehtäviin, mutta mittaajankin on hyvä tietää mihin mittaustuloksia käytetään.

Tien painumaa kuvaavia tunnuslukuja ovat:

- tienpinnan painuma (esimerkiksi 5 v takuuajana),
- tienpinnan painumanopeus takuuajan lopussa, esim. välillä 3–5 v rakentamisesta,
- tien pituuskaltevuuden muutos tietyllä matkalla.

Lähteet

1. Leinonen, J., Jaakkola, M., Onninen H. 2015. *Ajoneuvolaserkeilaus tien painuman mittauksessa*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2015. ISBN 978-952-317-056-8. Verkkojulkaisu: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-08_ajoneuvolaserkeilaus_tien_web.pdf
2. Liikennevirasto. 2011. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, Mittausohje, Liikenneviraston ohjeita 18/2011. ISBN 978-952-255-727-8.
3. YIV 2105: Yleiset ohjeet
4. YIV 2015: Lähtötiedot
5. ST-tuotevaatimukset 2014, Luonnos

Esimerkki mittausraportista

MITTAUSRAPORTTI

Projekti/kohde

Projekti: Painumamittauspilotti
Kohde: Kt 55, tieosa 3/3075-3990

Referenssimittaukset

Vahijärven mittauskohteeseen maalattiin signaalikuviot n. 200 m välein tien molemmille pientareille. Signaaleja tehtiin yhteensä 12 kpl.

Signaalipisteille tehdyn vaaituksen lähtöpisteenä käytettiin Maanmittauslaitoksen vaaittua kolmiopistettä nro. 87M1102C ja sulkupisteenä Maanmittauslaitoksen toisen luokan vaaituspistettä nro. 513407. Vaaitus tehtiin tarkkuusvaaituskojeella Leica NDA03 käyttäen jäykkää viivakoodilaattaa. Vaaituksen sulkuvirheeksi muodostui 0.0109 m, mikä tasoitettiin lineaarisesti vaaituspisteille vaaitusreitit pituuden suhteessa.

Vahijärven kohteessa referenssipisteiden tasokoordinaatit mitattiin runkomittauksen yhteydessä takymetrimittauksena. Mittaukset tehtiin kaukoputken molemmissa asennoissa sarjahavaintoina. Mittaus tehtiin Leica TCA 2003 -tarkkuustakymetrillä. Havainnot tehtiin statiivilla tuettuun prismaauvaan. Tasokoordinaattien tasoituslaskenta tehtiin GNSS runkomitattuihin runkopisteisiin. Korkeudet tasoitettiin vaaittuihin monikulmiopisteisiin.

Ajoneuvolaserkeilaus

Mobiilikartoitus suoritettiin tiellä Kt 55 20.5.2014 klo 9-10. Sää oli selkeä ja tien pinta puhdas sekä kuiva.

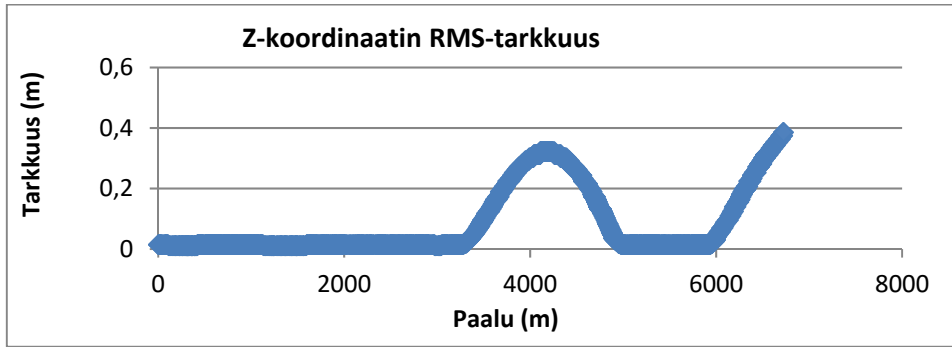
Paikkannusolosuhteet olivat hyvät mittauksen aikana. Ainoa katko paikannuksessa tuli mitattavan tien ylittävän sillan alla. Tämä oli kuitenkin huomioitu signaalien sijoittelulla.

Mittauslaitteena käytettiin Trimble MX8:aa. Molempiin suuntiin menevät kaistat mitattiin kertaalleen. Mittausauton kuljettajana toimi Jussi Leinonen ja mittausoperaattorina Anna Klemets Geotrim Oy:stä

Mittausdatan käsittely

Mittausaineiston käsittelijänä toimi Jussi Leinonen Destia Oy:stä

Mittauksen aikana kerätty paikannusdata jälkikäsiteltiin Trimblen VRS-tuki-asema-verkon avulla. Jälkikäsitteilyyn käytettiin Applanix POSPac MMS 7.1 -ohjelmaa. Jälkikäsitteilyn tuloksena saatiin mittauksen ajorataratkaisu, jonka avulla mitatun pistepilven sijainti korjattiin WGS84-koordinaatistoon. Pistepilven sijainnin korjaamiseen käytettiin Trimble Trident v. 7.0.1 -ohjelmaa. Lasketun ajorataratkaisun z-koordinaatin tarkkuus nähdään kuvassa 1.



Seuraavaksi tehtiin pistepilven sijainnin parannus signaalien avulla ja eri ajolinjojen yhteensovitus. Samalla aineisto tuotiin ETRS-GK26-koordinaatistoon ja FIN2005N2000-korkeusjärjestelmään. Signaalien lisäksi pistepilven kahden ajoradan xy-suuntainen yhteensovitus tapahtui tien maalimerkintöjen avulla. Korkeushienosäätö tehtiin tasaisten pintojen avulla. Sovitusten tekemiseen käytettiin Terra Scan (v. 15.005) ja Terra Match (v. 15.002) -ohjelmia.

Säädetyistä pistepilvestä luokiteltiin päällysteen pinta, ja siitä harvennettiin pintamalli 0,5 m pistevälillä siten, että yksikään piste ei poikkea mediaanipinnasta enempää kuin 10 mm. Lisäksi digitoitiin tien keskilinja sekä päällysteen reunat.

Luovutettava materiaali

Kaikki mittausaineisto toimitettiin ETRS-GK26-koordinaatistossa koordinaatistossa sekä FIN2005-korkeusjärjestelmässä. Aineisto toimitettiin postitse ulkoisella kova-levyllä. Seuraavat aineistot toimitettiin:

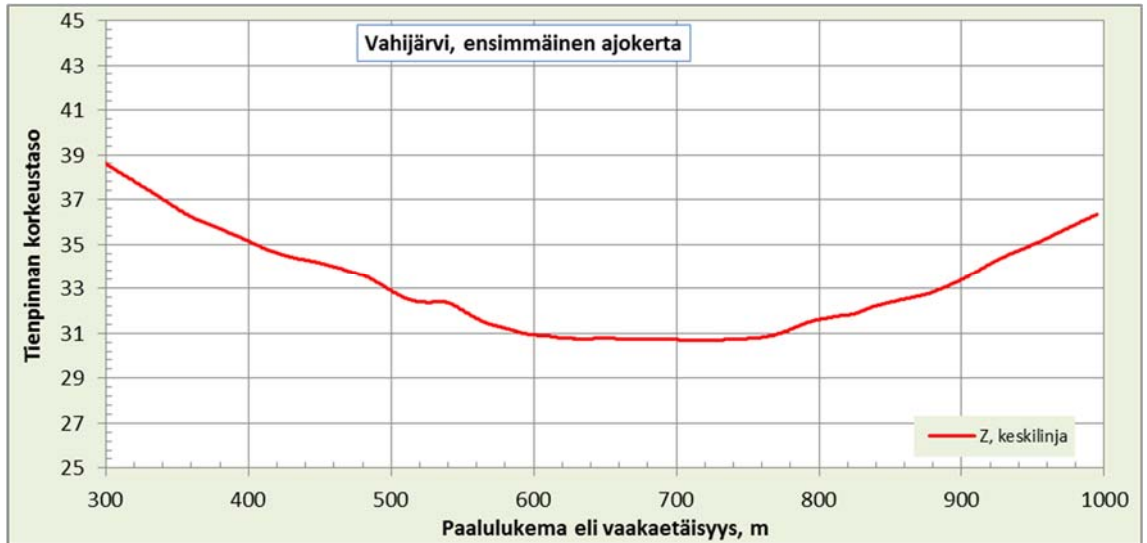
- Säädetty pistepilvi, LAS 1.2
- Pisteluokitustiedosto, ptc
- Säädetty ajoratatiedosto, trj
- Harvennettu päällysteen pintamalli, LAS 1.2
- Taiteviivat, dwg + xls-taulukko

Helsingissä 1.7.2015

Jussi Leinonen, Destia Oy

Esimerkki mittaus- ja tulostenkäsittely- prosessin laadun arvioinnista kahden nollamittauksen vertailulla

Tässä liitteessä havainnollistetaan Vahijärven mittauskohteessa tehdyllä laserkeilauksella saavutettua tarkkuustasoa. Tiekohtassa on selvästi havaittavia painumia ja niistä johtuvaa aaltomaista epätasaisuutta, kuten kuvan L4.1 pituusleikkauksesta havaitaan.

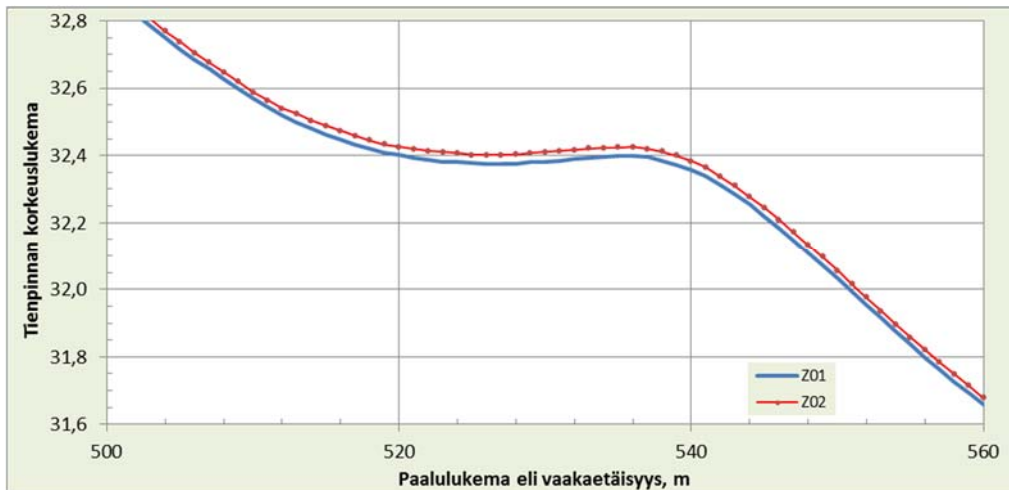


Kuva L4.1. Tien pituusleikkaus keskilinjalta

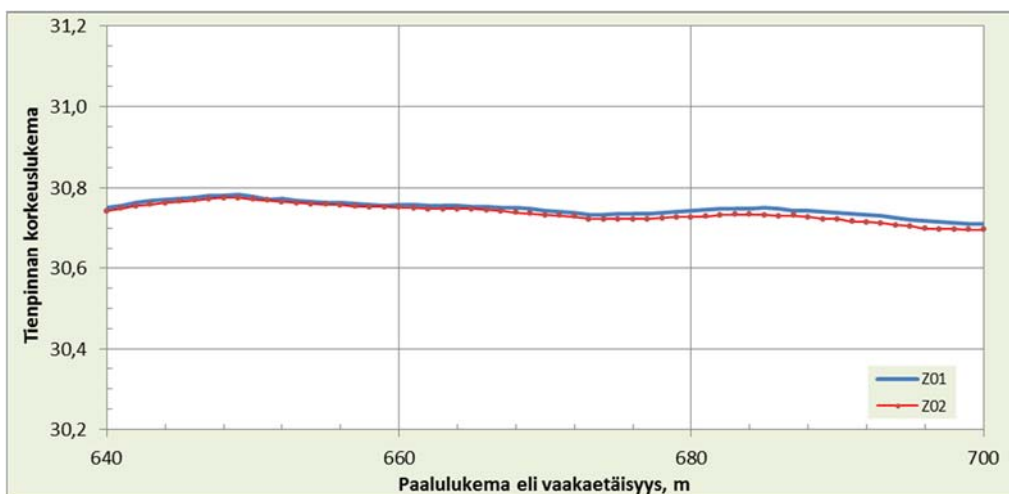
Kohteessa tehtiin kaksi laserkeilausta saman päivän aikana. Mittauskertojen välisiä eroja on havainnollistettu seuraavissa kuvissa.



Kuva L4.2. Kahden eri nollamittauksen välinen korkeusero. Mitään todellista korkeuden muutosta ei samana päivänä tehtyjen mittausten välillä ole tapahtunut. Ero kuvaa siis mittaus- ja tulostenkäsittelyprosessin epätarkkuutta (tässä kohdassa -30 - +20 mm, ks. kuvat alla).

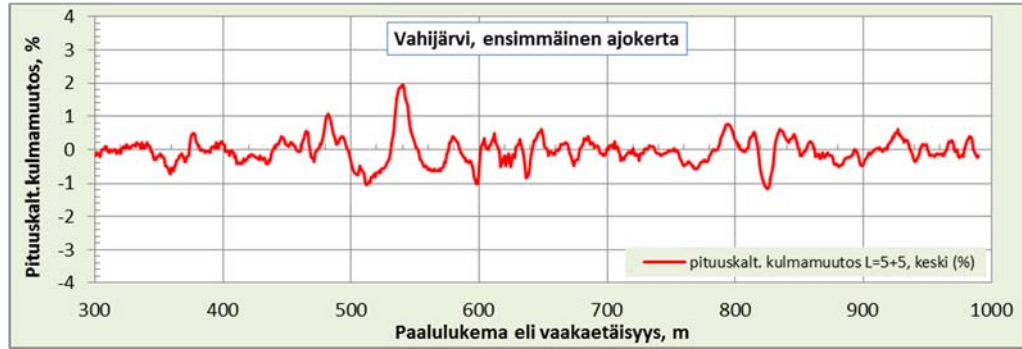


Kuva L4.3. Yksityiskohta tien keskilinjän pituusleikkauksista paaluväliltä 500–560 m.



Kuva L4.4. Yksityiskohta tien keskilinjän pituusleikkauksista paaluväliltä 640...700. Toinen nollamittaus.

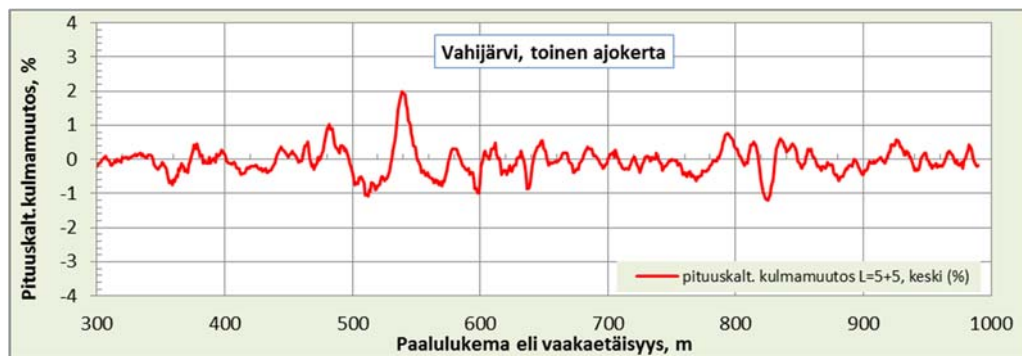
A) Pituuskalteen kulmamuutos tien painumamittauksessa



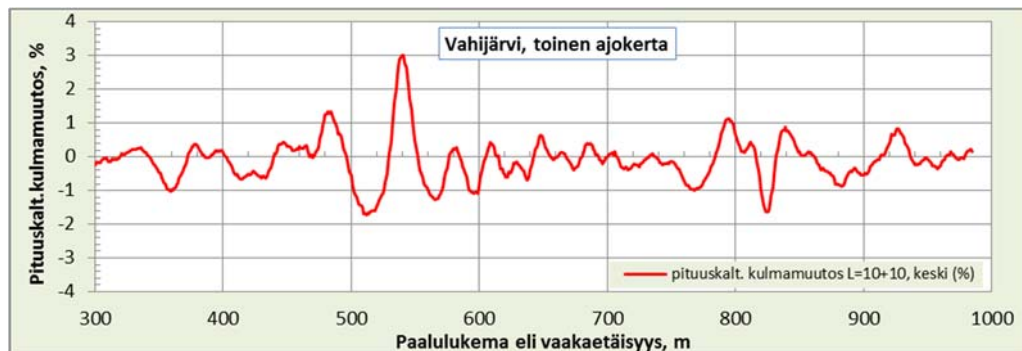
Kuva 4.5 a



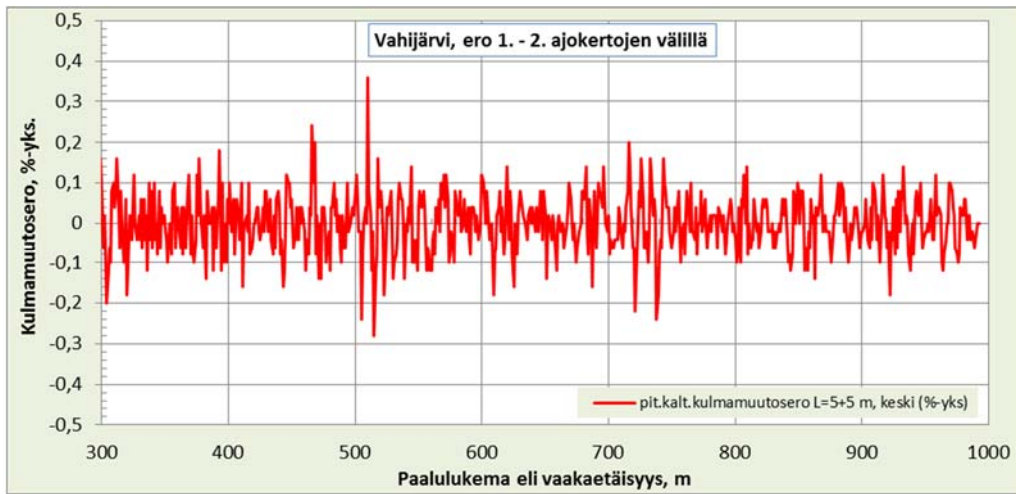
Kuva 4.5b. Tien pituuskaltevuuden kulmamuutos kuvan 4.1 kaavalla laskettuna, kun $L_1 = L_3 = 5$ m (kuva 4.5a) ja kun $L_1 = L_3 = 10$ m. Ensimmäinen nollamittaus.



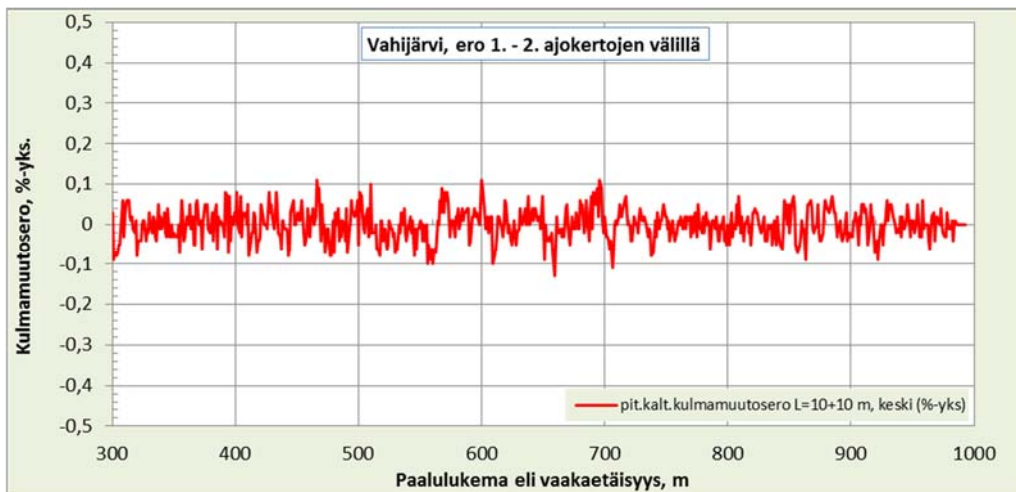
Kuva 4.6a



Kuva 4.6b. Tien pituuskaltevuuden kulmamuutos kuvan 4.1 kaavalla laskettuna, kun $L_1 = L_3 = 5$ m (kuva 4.6a) ja kun $L_1 = L_3 = 10$ m. Toinen nollamittaus.



Kuva L4.7a. Laskennallisten kulmamuuutosten ero kahden nollamittauksen välillä, kun $L_1 = L_3 = 5$ m, eli ero kuvien L4.5a ja L4.5b välillä. Koska mitään todellista muutosta ei mitatussa tiekohdassa tapahtunut, kuvassa näkyvä huojunta kuvaan koko mittausprosessin epätarkkuutta.



Kuva L4.7b. Laskennallisten kulmamuuutosten ero kahden nollamittauksen välillä, kun $L_1 = L_3 = 10$ m, eli ero kuvien L4.6a ja L4.6b välillä. Koska mitään todellista muutosta ei mitatussa tiekohdassa tapahtunut, kuvassa näkyvä huojunta kuvaan koko mittausprosessin epätarkkuutta.

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-6648
ISBN 978-952-317-258-6
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

Tämä asiakirja on allekirjoitettu

Lista allekirjoittajista

Allekirjoittaja

Todennus