

Juha Rajala

Mobiililaserkeilausaineiston hyödyntäminen päällystyskohteen nykytilan analysoimisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

21.11.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Juha Rajala Mobiililaserkeilausaineiston hyödyntäminen päällystyskohteen nykytilan analysoimisessa 33 sivua + 3 liitettä 21.11.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	osastopäällikkö Petri Niemi kehityspäällikkö Markku Pienimäki lehtori Jussi Laari
<p>Digitalisaation myötä tietomallinnus on yleistynyt myös päällystealalla. Mallipohjaista päällysteiden suunnittelua tehdään mobiililaserkeilausaineistosta muodostetun tien pintamallin avulla. Aineistot ovat tiedostokooltaan suuria, ja niiden analysointi kuormittaa tietokoneita hidastamalla muuta työntekoa. Mobiililaserkeilauskehityksessä mittaustietokoneiden tiedostokoot tulevat suurenemaan entisestään, jolloin on tärkeää, että käytettävissä on mahdollisimman sujuva proseduuri tien pinnan nykytilan analysoimiseksi.</p> <p>Tässä insinööriyössä tutkittiin mobiililaserkeilausaineiston hyödyntämismahdollisuuksia päällystyskohteen nykytilan analysoimisessa. Työn tavoitteena oli kehittää Finnmap Infran mallipohjaista päällysteiden suunnittelua nykytila-analyysin osalta. Työ toteutettiin etsimällä nykyisestä päällysteiden analysointimenetelmästä parannusideoita, joilla suunnittelua voitaisiin tehostaa.</p> <p>Insinööriyön tuloksena löydettiin TerraScan-ohjelmasta uusia ominaisuuksia päällysteen nykytila-analyysiä varten. Nykytila-analyysi saatiin tehtyä kohtuullisen automaattisesti TerraScanissa. Eniten työtä vaati tien maaliviivojen muuttaminen vektorimuotoon. Työssä todettiin TerraScanin olevan hyvä ohjelma pistepilven käsittelyyn ja analysoimiseen, jota tul- laan varmasti hyödyntämään yhä enemmän ohjelman kehittyessä. Merkittävin uusi työkalu TerraScanissa nykytila-analyysin kannalta todettiin olevan poikkileikkausparametrien laske- minen. Parametrien laskenta tuottaa lukuisan määrän tietoa päällysteen pinnasta, ja arvot saadaan visuaalisen tarkastelun lisäksi vietyä helposti esimerkiksi Exceliin tarkasteltavaksi.</p>	
Avainsanat	mobiililaserkeilaus, nykytila-analyysi, pistepilvi, TerraScan

Author Title	Juha Rajala Using mobile laser scanner data to analyze prevailing condition of the pavement
Number of Pages Date	33 pages + 3 appendices 21 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Petri Niemi, Branch Manager Markku Pienimäki, Development Manager Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>The aim of the Bachelor's thesis was to study how mobile laser scanner data can be used in a better way when analyzing the current condition of the pavement of a road, and how to improve the efficiency and usability of the currently used pavement analysis method. The engineering software used analyzing the pavement condition were Bentley Power Rail Track Select Series 2 and Terrasolid TerraScan which works under Bentley software.</p> <p>As a result, good features were found in the TerraScan software. It is possible to analyse the pavement condition easily with point cloud data. Cross section parameter calculation is the most useful tool when analyzing pavement condition. Parameters produce a great amount of information about pavement surface. The biggest challenge in the TerraScan is automation. For example, finding paintlines is mostly manually work. Still, TerraScan is making progress all the time and this thesis proves that TerraScan will certainly be used more and more when analyzing pavement condition in the future.</p>	
Keywords	mobile laser scanning, present stage model, pointcloud, TerraScan

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoite	1
1.3	Työn rakenne ja rajaus	2
2	Teiden kunnossapito	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Maantieverkon toiminnallinen luokitus	3
2.3	Korjausvelan vähentäminen	3
2.4	Tien kunnan mittaaminen	5
2.4.1	Palvelutasomittaus	5
2.4.2	Päällystevauriokartoitus	9
2.5	Teiden kuntoluokitus	9
2.6	Kuntotiedon käyttö tien ylläpitoa koskevassa päätöksenteossa	10
2.6.1	Rahoitustarpeiden perustelu ja strateginen ohjaus	10
2.6.2	Ylläpidon ohjelmointi	11
3	Mobiililaserkeilausaineiston soveltuvuus nykytila-analyysin lähtötiedoksi	12
3.1	Mobiililaserkeilausjärjestelmän osat	12
3.2	Mobiililaserkeilausjärjestelmän toimintaperiaate	13
3.3	Mittaustavat	15
3.3.1	Signaloitu mittaus	15
3.3.2	Signaloimaton mittaus	15
3.3.3	Tukiasemamittaus	16
3.4	Päällysteen pintamallin muodostaminen mobiililaserkeilausaineistosta	16
3.5	Mobiililaserkeilausaineiston tarkkuusanalyysi	19
3.6	Mobiililaserkeilauksen tulevaisuus	20
4	Päällystyskohteen nykytila-analyysi Finnmap Infra Oy:ssä	21
4.1	Nykyinen menetelmä	21
4.2	Työvaiheiden kuvaus	22
4.2.1	Tien maaliviivojen haku pistepilviaineistosta	22
4.2.2	Graafiset analyysit pistepilvestä	23
4.2.3	Numeerinen tarkastelu Excelillä	24

4.2.4	Videon tekeminen	25
5	Nykytila-analyysin kehittäminen	26
5.1	Poikkileikkausparametrit	26
5.2	Urien ja kuoppien visualisointi	28
5.3	Pituuskaltevuuden laskentatyökalun kehittäminen	28
6	Yhteenveto	29
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Päälystyskohteen nykytila-analyysi Excelissä	
	Liite 2. Poikkileikkausparametrien laskentaperiaatteet	
	Liite 3. Poikkileikkausparametrien tuottama raportti Excelissä	

Lyhenteet ja käsitteet

absoluuttinen tarkkuus	Mitattujen pisteiden koordinaattien tarkkuus verrattuna virheettömänä pidettyjen lähtöpisteiden suhteen.
ajolinjojen yhteensovitus	Mobiililaserkeilauksessa kahden eri ajolinjan pistepilvien sovittaminen keskinäisesti yhteen tarkkuuden parantamiseksi.
BIM	Building Information Model. Englanninkielinen lyhenne tietomallille.
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
hanketaso	Päälystysuunnittelu keskitettynä tietylle osalle Suomen tieverkkoa, esimerkiksi Valtatie 7.
IMU	Inertial Measurement Unit. Inertiamittausalusta, jonka avulla liikkuva mittausjärjestelmä, kuten mobiililaserkeilain, mittaa mittauslaitteen sijainnin ja asennon muutoksia gyroskooppien ja kiihtyvyyssantureiden avulla.
IRI	International Roughness Index. Tien pituussuuntaista epätasaisuutta kuvaava arvo. Käytettävä suure on mm/m.
korjausvelka	Toiselta nimeltään korjausvaje. Liikenneväylillä korjausvelalla tarkoitetaan sitä rahsummaa, joka tarvittaisiin väylien saattamiseksi nykytarpeita vastaavaan kuntoon.
KVL	Vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne.
MLS	Mobile Laser Scanning. Englanninkielinen lyhenne mobiililaserkeilaukselle.

PTM	Palvelutasomittaus. Tien pinnan tasaisuuden mittausmenetelmä, jolla valvotaan tien kuntoa. Kerätään päällysteen pinnasta laseranturin ja pystykiihtyvyyssanturin avulla.
PVK	Päällystevauriokartoitus. Silmämääräisesti havaittuja ongelmia päällysteen pinnassa. Näitä ovat esimerkiksi halkeamat, purkaumat ja reiät tiessä.
regressiomenetelmä	Sivukaltevuuden laskennassa käytettävä menetelmä. Piste-pilven poikkiprofiilista lasketaan pisteiden välille pienimmän neliösumman menetelmällä regressiosuora, jota verrataan vaakasuoraan tasoon ja lasketaan sivukaltevuusprosentti.
signalointi	Mittausaineiston sitominen globaaliin koordinaatistoon. Signaalointipisteinä käytetään esimerkiksi tiehen maalattuja mustavalkoisia merkkejä, joiden keskipiste mitataan tarkasti.
sisäinen tarkkuus	Mitattujen pisteiden välinen keskinäinen tarkkuus.
verkkotaso	Suomen koko tieverkolla tapahtuva analysointi esimerkiksi tien pinnan kunnosta.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Tietomallintaminen on yleistynyt infra-alalla viime vuosina erityisesti uudisrakentamisessa. Kunnossapidon puolella mallintamista on käytetty kuitenkin huomattavasti vähemmän. Esimerkiksi päällysteen korjauksessa ja teiden ylläpidossa ei juurikaan hyödynnetä tietomallinnuksen tarjoamia mahdollisuuksia. Lisäksi infra-alalla yleistyvien ja nopeasti kehittyvien mittausmenetelmien, kuten mobiililaserkeilauksen hyödyntäminen on ollut vielä hyvin vähäistä. Sama koskee myös päällystealalle levittyvää koneohjausta, jonka tarjoamia mahdollisuuksia käytetään vielä varsin vähän hyväksi. [1, s. 5; 2, s. 2.]

Perinteisesti päällystyshankkeissa korjataan vain tien pintakunto, eli poistetaan pintavauriot ja korjataan tasaisuutta. Finnmap Infra Oy on kehittänyt mallipohjaiseen suunnitteluun perustuvan menetelmän päällystyskohteiden suunnitteluun. Yritys käyttää kehittämästään menetelmästä termiä päällystysoptimointi. Mallipohjainen päällysteiden suunnittelu ja korjaaminen eroaa perinteisestä menetelmästä siten, että tietomallintamista hyödyntäen voidaan korjata pintavaurioiden lisäksi tien pituus- ja poikkisuuntaisia puutteita turvallisuuden parantamiseksi ja tien kunnon ylläpitämiseksi. Menetelmä perustuu mobiililaserkeilauksella selvitetyn tienpinnan nykyisen kunnon analysointiin ja tämän pohjalta suunniteltuihin parannusratkaisuihin. [1, s. 16; 3.]

1.2 Työn tavoite

Tällä hetkellä nykyisen tienpinnan kunnon selvittäminen on monivaiheinen prosessi ja siihen joudutaan käyttämään turhan paljon työtunteja. Mobiililaserkeilausaineistot ovat lisäksi melko isoja tiedostokooltaan, jolloin tietokoneiden suorituskyky saattaa joutua koetukselle. Tämän insinööriyön tavoitteena on perehtyä tietomallipohjaiseen päällysteiden suunnitteluun ja kehittää sen olennaisinta osaa päällystyskohteen nykytila-analyysia. Työssä selvitetään, miten mobiililaserkeilausaineistoa voidaan hyödyntää entistä paremmin ja tehokkaammin päällystyskohteen nykytilaa analysoitaessa.

1.3 Työn rakenne ja rajaus

Tässä insinööriyössä aihetta käsitellään valtion hallinnoimien teiden näkökulmasta. Kuntien hallinnoimia katuja ei huomioida työssä käsitteiden ristiriitojen välttämiseksi. Työssä otetaan kantaa päällystettyjen teiden pinnan kuntoon. Mahdollisia tiessä ilmeneviä rakenne- tai geoteknisiä ongelmia tässä työssä ei käsitellä.

Tämä insinööriyön päävaiheet voidaan jakaa neljään osuuteen. Työn ensimmäisessä osuudessa käsitellään teiden kunnossapidon teoriaa tutustumalla Suomen tieverkkoon ja tieverkon kuntoon. Lisäksi tutkitaan verkkotasolla tehtävää tien kunnan mittaamista ja mittaustietojen hyödyntämistä päällystystöiden valinnassa. Toisessa osuudessa tutkitaan hanketasolla suoritettavaa mobiililaserkeilausta ja keilausaineiston soveltuvuutta mallipohjaisen suunnittelun lähtötiedoksi erityisesti nykytila-analyysia varten. Tämän työn kolmannessa osuudessa käsitellään Finnmap Infran tämän hetkisiä päällystyskohteen nykytila-analyysin työvaiheita. Viimeisessä osuudessa etsitään kehitysratkaisuja nykytila-analyysin tehostamiseksi.

Suunnittelujärjestelmänä tässä työssä käytetään Bentley'n Power Rail Track V8i SelectSeries 2 -versiota. Päätyökaluna tässä työssä käytetään kuitenkin Terrasolidin TerraScan-ohjelmaa. Excel-taulukkolaskentaohjelma toimii suunnittelujärjestelmän ja TerraScanin tukena.

2 Teiden kunnossapito

2.1 Yleistä

Liikenneviraston määrittelemän terminologian mukaan maanteiden kunnossapidolla tarkoitetaan tieverkolle tehtäviä hoidollisia ja ylläpidollisia toimia, joista alueelliset ELY-keskukset vastaavat Liikenneviraston ohjeistuksella. Teitä ylläpidetään, jotta niillä voidaan liikennöidä turvallisesti. Päällysteiden korjaamisella ja paikkaamisella huolehditaan, että teiden pinnan kunto säilyy hyvänä. Suomen tieverkko käsittää maantiet, kunnalliset katuverkot ja yksityistiet. Koko tieverkon pituus on noin 454 000 kilometriä. Liikenneviraston vastuulla olevia valtion maanteitä tieverkosta on yhteensä noin 78 000 kilometriä, joista päällystettyä tietä on noin 67 prosenttia. [6.]

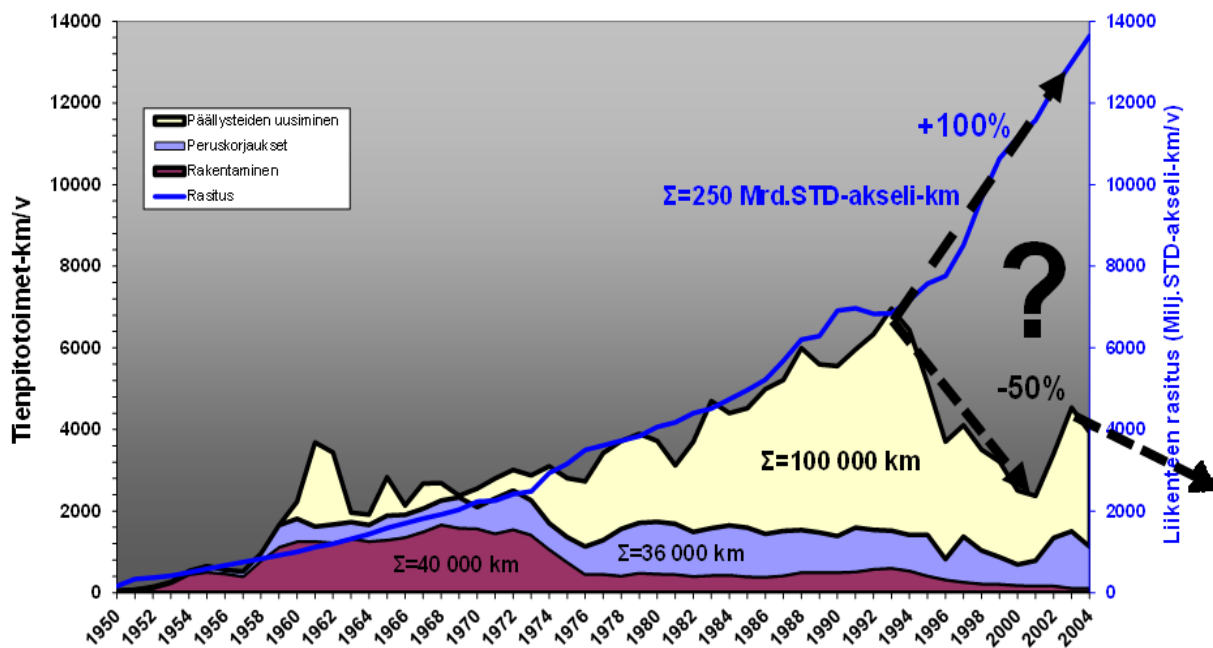
2.2 Maantieverkon toiminnallinen luokitus

Maantieverkko on jaettu neljään toiminnalliseen luokkaan tien liikenteellisen merkityksen perusteella. Nämä toiminnalliset luokat ovat valtatie, kantatie, seututie ja yhdystie. Valtatiet ja kantatiet muodostavat yhdessä päätieverkon. Suomen päätieverkon pituus on 13 300 kilometriä. Valtateitä on yhteensä 8 600 kilometriä ja ne yhdistävät suuria keskuksia sekä maan eri alueita. Valtatiet muodostavat maantieverkon rungon. Kantateitä on yhteensä 4 700 kilometriä, ja ne yhdistävät pienempiä keskuksia ja seutukuntia, sekä täydentävät valtatieverkkoa. Päätieverkko jäsennellään vielä runkoteihin (2 300 km), muihin tärkeisiin ja vilkkaisiin pääteihin (2 500 km) sekä muihin pääteihin (8 500 km). Runkotiet ovat tieverkon ydin, joka yhdistää pääkaupunkiseudun ja merkittävimmät keskuksat. Liikenne- ja viestintäministeriö määrittää, miltä osin valta- ja kantatiet ovat valtakunnallisesti merkittäviä runkoteitä. [12.]

2.3 Korjausvelan vähentäminen

Liikenneväylien korjausvelalla tarkoitetaan sitä rahasummaa, joka tarvitaan väylien saattamiseksi nykytarpeita vastaavaan hyvään kuntoon. Suomen väyläverkko on päässyt rapistumaan sen kunnossapitoon osoitetun niukan rahoituksen seurauksena. Väyläverkon korjausvelan määrä on tällä hetkellä noin 2,5 miljardia euroa. Korjausvelkaa ja korjaustarpeita on maanteillä, radoilla ja vesiväylillä. Korjausvelkaa ovat mm. huonokuntoiset väylät ja niiden rakenteet sekä tekniikaltaan vanhentuneet varusteet ja laitteet. Uusien väylien rakentamista, liittymien parantamista ja lisäkaistojen tai lisäraiteiden rakentamista korjausvelka ei sisällä. [15; 16.]

Kuvasta 1 näkyy, kuinka korjausvelka on päässyt kasvamaan. Tierasitus kasvaa koko ajan tasaisesti liikennemäärien lisääntyessä, jolloin etenkin päällysteiden uusimisen ja peruskorjausten pitäisi kulkea rinta rinnan tierasituksen kanssa. Kuvasta huomataan kuitenkin, että vuodesta 1992 lähtien etenkin päällysteiden uusiminen tekee huomattavan romahduksen, jolloin tien kunto pääsee rapistumaan ja korjausvelka suurenemaan.



Kuva 1. Tiehen kohdistuva rasitus verrattuna tienpitotoimiin. Sininen viiva kuvaa tierasitusta. [27]

Pääministeri Sipilän hallitus on päättänyt kohdistaa vuosina 2016—2018 yhteensä 600 miljoonaa euroa liikenneväylien korjausvelan vähentämiseen. Lisäksi hallitus on myöntänyt vuosille 2017—2019 lisärahoitusta 364 miljoonaa euroa täydentämään 600 miljoonan euron korjausvelkaohjelmaa. Korjausvelkaohjelma on osa hallituksen 1,6 miljardin euron kärkihankekokonaisuutta. Korjausvelan vähentämiseksi on laadittu Liikennevirastossa kolmivuotinen ohjelma. Teiden korjaamisen osalta ohjelma on laadittu yhteistyössä ELY-keskusten kanssa. Korjausvelkaohjelma sisältää olemassa olevien väylien korjaamista. Liikenneverkolla on korjausvelan lisäksi paljon parantamistarpeita, joihin ei tällä rahoituksella pystytä vastaamaan. Tämän takia korjausvelan vähentämiseen panostaminen on tärkeää. Yleinen kriteeri korjausvelkakohteiden valintaan on ollut, että kohteiden korjaaminen vastaa asiakkaiden tarpeisiin ja vähentää liikenneväylien korjausvelkaa. Painopiste on elinkeinoelämän tarpeissa ja työssäkäyntialueiden liikenteen toimivuudessa. [15; 16.]

Digitalisaatio yleistyy maailmalla nopeasti, ja se on tärkeä tekijä korjausvelan vähentämisen kannalta. Innovaatioista ja teknologiasta haetaan entistä tehokkaampia keinoja ongelmien ratkaisemiseen. Digitalisaatio edistää asiakastarpeiden tunnistamista, väy-

länpidon tehokkuutta, uusien liikenteen palvelujen käyttöönottoa ja valmistautumista liikenteen automatisaatioon. Liikenneviraston käynnistämä digitalisaatiohanke on osa kolmivuotista korjausvelkaohjelmaa ja sen tavoitteena on tunnistaa väylien korjaustarpeet täsmällisemmin sekä kohdistaa ja suunnitella korjaustoimenpiteet tarkemmin. Tällä tavoin käytettynä digitalisaatio lisää väylien ylläpidon kustannustehokkuutta ja paremmilla menetelmillä vähennetään korjausvelan lisääntymistä. [16.]

2.4 Tien kunnan mittaaminen

Teiden kuntoa seurataan verkkotasoisesti palvelutasomittauksilla ja päällystevauriokartoituksilla. Palvelutasomittauksia tehdään päätieverkolla keskimäärin 1–2 vuoden välein ja vähäliikenteisemmällä tieverkolla 3–4 vuoden välein. Tiestömittausten pääasiallinen käyttökohde on koko päällystetyn tieverkon kuntotilan seuraaminen, eli puhutaan verkkotasolla tapahtuvasta tiedon keruusta ja analysoinnista. Päällystevaurioita kartoitetaan yleensä noin 3 vuoden välein. [5, s. 11; 6.]

2.4.1 Palvelutasomittaus

Tienpinnan kunnosta kerätään tietoa palvelutasomittauksilla (PTM). Tähän tarkoitukseen on kehitetty PTM-auto (kuva 2), joka mittaa tiepäällysteen pituussuuntaista tasaisuutta ja poikkisuuntaista muotoa. Mittaukset suoritetaan yksiajorataisilla teillä yleensä vain toiselta ajokaistalta ja kaksiajorataisilla teillä molemmilta kaistoilta. Mittaustiedoista voidaan laskea erilaisia tienpinnan kuntoa kuvaavia tunnuslukuja. [5, s. 11–13.]



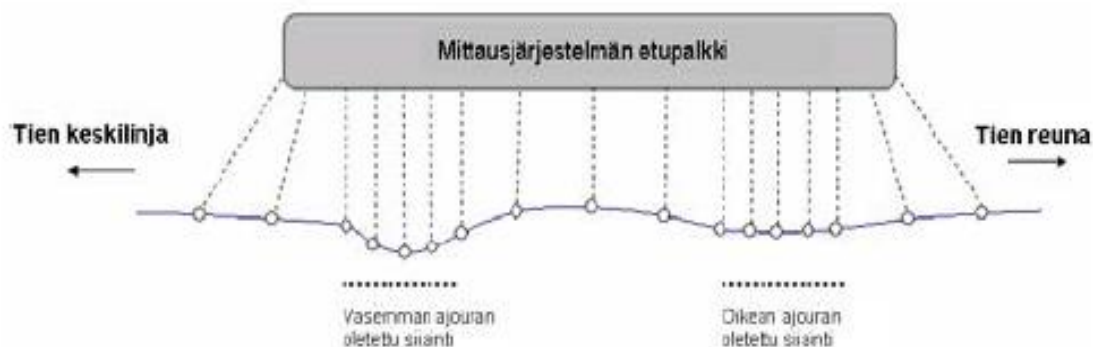
Kuva 2. Erilaisia PTM-autoja [7].

Pituussuuntaiset tien tasaisuustiedot kerätään päällysteen pinnasta PTM-auton lasermittarin ja pystykiihtyvyyssanturin avulla. Laserilla mitataan tien pinnan ja auton korin välistä etäisyyttä ja pystykiihtyvyyssanturilla mitataan korin pystysuuntaista liikettä. Mittaustiedoista saadaan tien pituussuuntainen tasaisuusprofiili vain yhdeltä tien pituussuuntaiselta linjalta, koska lasermittari on sijoitettu mitta-auton uloimman etupyörän eteen. Yleisimmin käytetty tien pituussuuntaista tasaisuutta kuvaava tunnusluku on IRI-arvo. IRI perustuu tien pituussuuntaiseen profiiliin ja toimii ajomukavuuden mittarina. IRI-arvo kuvaa sellaista epätasaisuutta, jonka autoilija tuntee epämukavana. Arvoon kuvautuvat aallonpituudeltaan 0,5–30 m:n epätasaisuudet. IRI-arvon yksikkö on mm/m ja se esitetään 100 metrin pituisten tieosuuskien keskiarvona. Taulukossa 1 esitetään tienpinnan tasaisuutta kuvaavan IRI:n raja-arvot huomioimatta eri tieluokkien liikennemääriä. [4, s. 3–6.]

Taulukko 1. Tienpinnan tasaisuuden raja-arvot [10].

Kunto-luokka	Erittäin hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
IRI mm/m	≤ 1,3	1,4–2,5	2,6–3,7	3,8–4,8	> 4,8

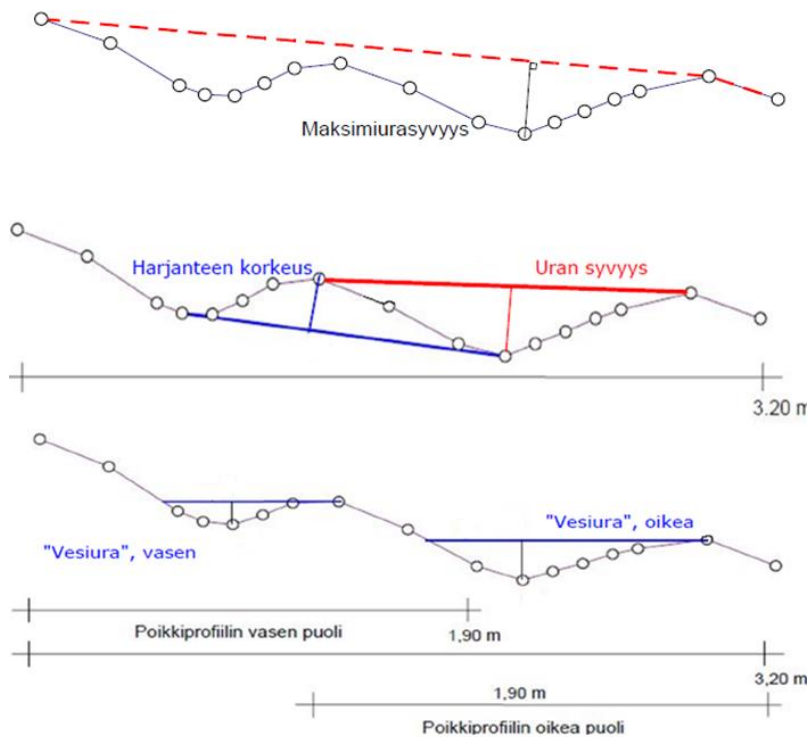
Tien poikkisuuntaista muotoa mitataan PTM-auton keulassa sijaitsevan mittauspalkin laserantureiden avulla (kuva 3). Mittaustiedoista lasketaan tien pinnan urasyvyys, harjanteen korkeutta ja sivukaltevuuksia. [4, s. 3–6.]



Kuva 3. PTM-auton lasermittauspalkki. Katkoviiva kuvaa lasereita ja pallot lasereiden mittaamia pisteitä. [7]

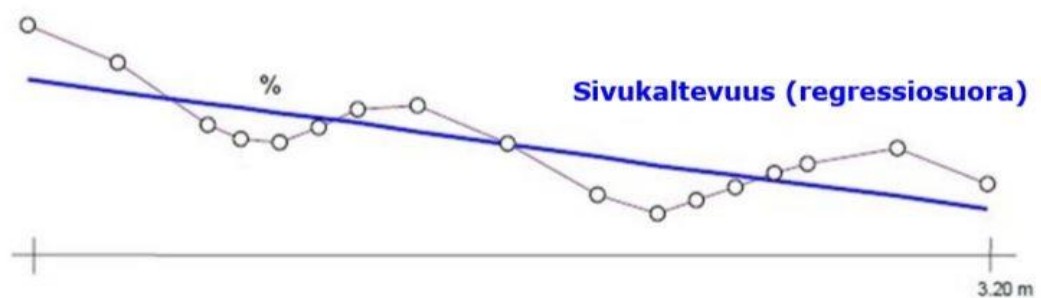
Urasyvyytlaskennan lähtöoletuksena on, että PTM-auton lasermittauspalkin laita-anturit ovat kulumattomalla päällysteellä, ura-anturit urien kohdalla ja keskianturit keskiharranteen kohdalla. Urasyvyyt määritellään lankaperiaatteen mukaan. Jokaiselle lasermittauspalkin mittaamalle pisteelle lasketaan 10 cm:n matkalta keskiarvo. Näistä 10 cm:n keskiarvoista muodostetaan vielä uusi keskiarvo, yleensä joko 10 metrin tai 100 metrin tarkastelujaksolle. Tämän jälkeen keskiarvoista muodostetun poikkiprofiilin yli kiristetään kuvitteellinen lanka, jossa suurin etäisyys päällysteen pintaan on maksimiurasyvyyt (kuva 4). Maksimiurasyvyyden arvo on useimmissa tapauksissa sama kuin urasyvyyden arvo. Joissakin tapauksissa on silti mahdollista, että maksimiurasyvyyden arvo on suurempi kuin ajourien vastaavat arvot. Tämä on mahdollista esimerkiksi huonokuntoisella tiellä, jolla ajoradan reunat ovat korkeammalla kuin ajoradan keksiosa. [4, s. 3–6; 5, s. 29–30.]

Kuvassa 4 havainnollistetaan lisäksi vesiurien ja harjanteen korkeuden laskentaperiaatteita. Vesiuran syvyys määritellään sen mukaan, kuinka kauan vesi pysyy urassa ennen kuin se lähtee virtaamaan pois. Vesiura noudattaa muuttujana hyvin paljon urasyvyyttä. Tiellä, jolla on pieni urasyvyys, vesiuran laskennallinen syvyys on pieni. Urasyvyyden lisääntyessä vesiuran suuruus lisääntyy. Harjanteen korkeus saadaan selville vetämällä viiva vasemman ja oikean ajouran pohjien välille. Leikkaavan viivan ja harjanteen välillä oleva suurin korkeuslukema lasketaan harjanteen korkeudeksi. [5, s. 32–34.]



Kuva 4. Urasyvyyksien, harjanteen ja vesiurien laskentaperiaatteet [2]

Sivukaltevuus lasketaan regressiomenetelmän avulla (kuva 5). Mittauspisteisiin sovitaan sivukaltevuutta kuvaava regressiosuora pienimmän neliösumman menetelmällä. Sivukaltevuus esitetään prosenteissa, ja se kuvaa tien pinnan poikkisuuntaista kaltevuutta. Kaltevuusarvot voivat olla joko negatiivisia tai positiivisia riippuen siitä, kumpaan suuntaan tie on kalteva. [5, s. 36, 11, s.15.]



Kuva 5. Sivukaltevuuden määrittäminen regressiomenetelmällä. Pallot kuvaavat mittauspisteitä ja sininen viiva sivukaltevuutta. [2]

2.4.2 Päälystevauriokartoitus

Päälystevauriokartoitus (PVK) on tien pinnalla olevien vaurioiden silmämääräistä havaitsemista. Inventointia tehdään yleensä hitaasti liikkuvasta ajoneuvosta ja se keskittyy usein vain vähäliikenteisimmille teille. Havaittavia vaurioita päälystevauriointeissa ovat

- erilaiset halkeamat, kuten pituus- ja poikkihalkeamat, saumahalkeamat ja verkkohalkeamat
- hajoamisvauriot, kuten purkaumat ja reiät
- painumat. [6; 13, s. 47.]

Visuaalinen päälystevaurioiden kartoitus on kuitenkin melko epätarkkaa tietoa tien pinnan kunnosta. Vaurioiden havaitusjoiden tulokset vaihtelevat eri inventoijien välillä, sekä todennäköisesti myös saman inventoijan eri aikoina tekemien havaintojen välillä. Tämän vuoksi on tärkeää olla myös vuorovaikutuksessa tienkäyttäjien kanssa ja kuunnella heidän palautettaan tien kunnosta. Liikennevirastolla on lisäksi olemassa tienkäyttäjän linja, johon voi soittaa ympäri vuorokauden ilmoittaakseen liikenneturvallisuuksi vaarantavista tai haittaavista vaurioista. [19, s. 32–34.]

2.5 Teiden kuntoluokitus

Liikenneviraston [6] Teiden kunnossapito -internetsivujen mukaan tietä voidaan pitää huonokuntoisena, jos sillä liikkuaessa pitää vaihtaa ajolinjaa urien tai vaurioiden takia, tai jos tie on niin epätasainen, että matkustusmukavuus heikkenee. Päälystetty tie on puolestaan hyväkuntoinen silloin, kun se on uraton ja korkeintaan väriltään haalistunut. Hyväkuntoisella tiellä ei myöskään ole suuria painaumuksia tai heittoja ja halkeamat ovat ka-peita tai hyvin paikattuja.

Päälystetyt tiet jaetaan viiteen kuntoluokkaan (taulukko 2). Tien kuntoluokan määrittäminen perustuu mittaukseen ja vauriokartoitukseen, tien liikennemäärään sekä nopeusrajoitukseen. Vilkasliikenteisillä teillä kuntoluokka määrittyy pitkälti urasyvyyden mukaan. Vähäliikenteisillä teillä kuntoluokka määrittyy lähinnä vauriokartoituksen perusteella. [6.]

Taulukko 2. Tien kuntoluokitus Liikenneviraston mukaan [6]

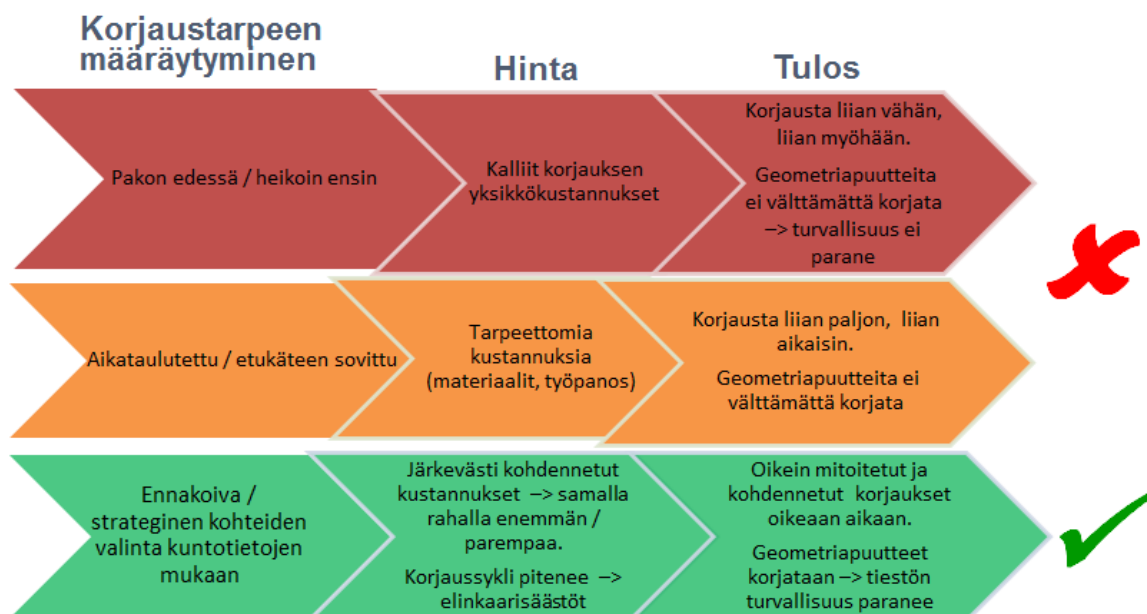
Kuntoluokitus	Selite
5	Erittäin hyvä: uutta vastaava kunto. Ylläpitotarpeita ei ole.
4	Hyvä: kunto on hyvä, vaikka normaalia kulumista jo esiintyykin. Ylläpitotarpeita ei ole.
3	Tyydyttävä: tyydyttävä kunto, tarvitaan yleensä tehostettua seuranta ja yksittäisiä ylläpitotoimia saattaa olla perusteltua tehdä.
2	Huono: korjausta vaativa kunto. Tämä on kestävän tienpidon kannalta oikea ylläpito- ja peruskorjaustoimenpiteiden toteutushetki
1	Erittäin huono: heikko, ei enää hyväksyttävissä oleva kunto. Aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia tienpitäjälle ja tienkäyttäjille.

2.6 Kuntotiedon käyttö tien ylläpitoa koskevassa päätöksenteossa

2.6.1 Rahoitustarpeiden perustelu ja strateginen ohjaus

Rahoitustarpeiden perustelu on tarpeiden ja eri päätösvaihtoehtojen arvioitujen vaikutusten viestintää päättäjille. Tiestön ylläpitoon kohdistuvassa rahoitustarpeiden perustelussa Liikennevirasto keskustelee Liikenne- ja viestintäministeriön kanssa. Rahoitustarpeiden perusteluissa aiemmin mainitut tiestön kuntoon liittyviä tekijät kuten IRI, urasyvyys ja tiestön kuntoluokitus esitetään erityyppisinä yhteenvedoina. Lisäksi voidaan käyttää myös muita tekijöitä, esimerkiksi keskimääräistä päällystyskiertoa. [19, s. 45.]

Strategisessa ohjauksessa määritellään tienpidon tavoitteet ja niiden saavuttamiseksi tarvittavat resurssit. Strateginen ohjaus on läheisessä yhteydessä rahoitustarpeiden perustelun kanssa ja molemmissa käytetään hyvin pitkälle samanlaisia kuntotietoja. Strategisen ohjauksen tulokset toimivat myös rahoitustarpeiden perusteluna. Erona rahoitustarpeiden perusteluun on, että strateginen ohjaus on tienpitäjän organisaation sisäinen prosessi. [19, s. 63–64.]



Kuva 6. Päälystystöiden strateginen ohjaus [21]

Kuva 6 esittää toimintatapaa, miten strategisen ohjauksen tulisi mennä ja mitä seuraa, jos strateginen ohjaus on huonoa. Kaksi ylintä nuolenkärkikuviota kertoo huonosta strategisesta ohjauksesta ja alin nuolenkärki kuvaa oikeanlaista tapaa tehdä strategista ohjausta. Hyvä strateginen ohjaus on ennakoivaa ja päälystettävät kohteet voidaan valita kuntotietojen perusteella. Korjauksen kustannukset saadaan kohdennettua järkevästi ja tien korjausssykli pitenee. Lisäksi tiessä olevat geometriapuutteet saadaan korjattua ja tiestön turvallisuus paranee.

2.6.2 Ylläpidon ohjelmointi

Palvelutasomittausten ja vauriokartoitusten pohjalta päälystekorjauksen suunnittelijalla on tiedossa korjausta tarvitsevat tieosuudet. Lisäksi tien kuntoluokitus kertoo tarkempaa tarkastelua vaativat tieosuudet. Tietoa tien kunnosta saadaan myös ELY-keskusten asiantuntijoilta ja suoraan tienkäyttäjiltä. Kesän päälystystyöt suunnitellaan talvella, jolloin kevään aikana paljastuneet vauriot voidaan vielä lisätä kunnostusta vaativiin kohteisiin. [6.]

Valtion hallinnoimille päälystetyille maanteille on määritetty ylläpitoluokka sen mukaan, millainen tien merkitys on. Korjauksiin käytettävissä oleva raha ei riitä kaikkien huono-

kuntoisten tieosuuksien korjaamiseen, joten päällystämiseen käytettävissä olevien resurssien kohdentamisessa käytetään apuna ylläpitoluokitusta (kuva 7). Ylläpitoluokitus on muodostettu yleisellä tasolla liikennemäärän ja tien toiminnallisen merkityksen perusteella. Viikkaimmat tiet ovat korjauslistan kärjessä ja vähäliikenteisempää tieverkkoa kunnostetaan mahdollisuuksien mukaan. Etenkin ylläpitoluokissa Y1a ja Y1b olisi hyvä olla riittävä määrä hyväksi mitattua tiestöä. [6.]

KVL LK	Toiminnallinen luokka				
	Runko	Valta	Kanta	Seutu	Yhdys
>= 12000	Y1a	Y1b	Y1c	Y2a	Y3a
6000 - 12000					
3000 - 6000					
1500 - 3000					
800 - 1500					
350 - 800					
200 - 350					
100 - 200					
< 100					

Kuva 7. Tien ylläpitoluokat [22]

Päällystysohjelma on luettelo toteutettavista ylläpitotoimenpiteistä ja niiden kohteista. Ylläpidon ohjelmoinnilla tarkoitetaan päällystysohjelmien tekoa 1 – 3 vuodeksi eteenpäin. Seuraavan vuoden kohdeluettelo on tarkin ja myöhempien vuosien kohdeluettelot ovat alustavia, ja niitä päivitetään seuraavina vuosina tehtävien uusien kuntoanalyysien myötä. [19, s. 70.]

3 Mobiililaserkeilausaineiston soveltuvuus nykytila-analyysin lähtötiedoksi

3.1 Mobiililaserkeilausjärjestelmän osat

Mobiililaserkeilauksella tarkoitetaan ajoneuvosta suoritettavaa laserkeilausta. Termi tulee englannin kielen ilmauksesta *mobile laser scanning* (MLS). Suomessa menetelmää kutsutaan myös termeillä ajoneuvolaserkeilaus tai liikkuva laserkeilaus. Mobiililaserkeilaus perustuu yhteen tai useampaan laserkeilaimeen ja GNSS-vastaanottimeen sekä

inertiamittausyksikköön (IMU). Lisäksi keilauslaitteistoon on yleensä yhdistetty kame- roita kuvaamaan ajoreitin ympäristöä. Kuva 8 on esimerkki yhdenlaisesta mobiililaser- keilausjärjestelmästä asennettuna pakettiautoon. [9, s. 15.]



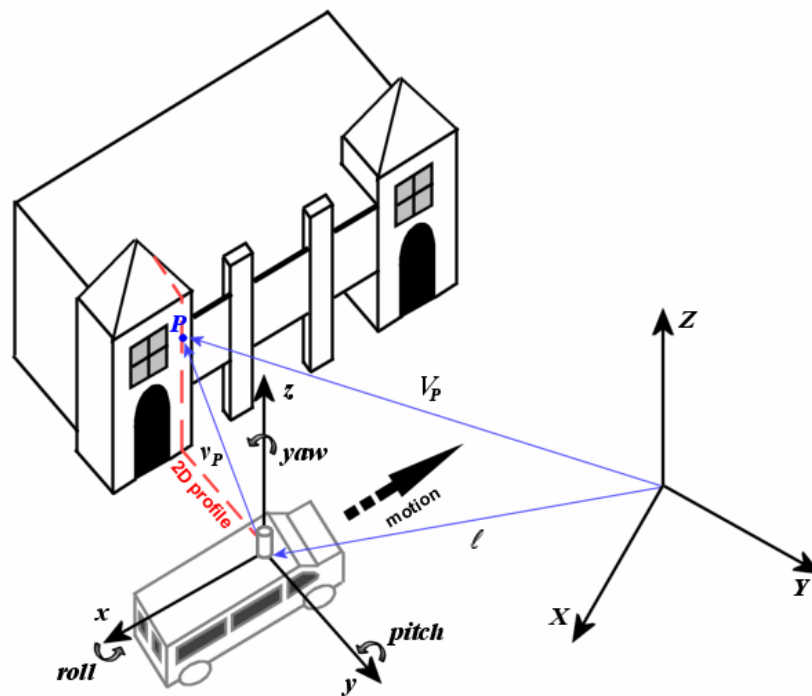
Kuva 8. Vasemmalla Trimble MX8 -mobiilikartoitusjärjestelmä asennettuna pakettiautoon. Oikealla tyypillinen esimerkki mobiililaserkeilausjärjestelmän koostumuksesta. [2; 9.]

Laserkeilausjärjestelmä asennetaan työprojektin vaatimusten mukaan erilaisiin ajoneuvoihin. Mittauksissa käytettävä ajoneuvo valitaan käyttötarkoituksen mukaan ja se voi olla auton lisäksi esimerkiksi juna tai vene. Lisäksi laserkeilaamiseen voidaan käyttää ilmalaserkeilausta. [8, s. 5.]

3.2 Mobiililaserkeilausjärjestelmän toimintaperiaate

Luotettavien mittaustuloksien saavuttamiseksi mobiililaserkeilausjärjestelmä tulee kalibroida ennen mittauksen suorittamista. Kalibroinnilla pyritään poistamaan järjestelmän systemaattiset virheet. Usein kalibroitiedot, kuten laserkeilaimen ja kameroiden sisäiset kalibroinnit saadaan jo laitevalmistajalta, mutta mittaajan olisi kuitenkin hyvä tarkastella näitä arvoja varmistaakseen mittauksen luotettavuuden. [8, s. 24.] Lisäksi mittausaineistoa luovutettaessa suunnittelijalle kalibroitiedot olisi hyvä saada mukaan mitausten oikeellisuuden varmistamiseksi.

Mobiililaserkeilauksessa laserkeilain lähettää laserpulsseja, jotka osuvat kohteeseen ja kimpoavat takaisin keilaimen. Osumakohdan etäisyys laserkeilaimesta saadaan laskettua laserpulssin kulkuajan perusteella. Lisäksi saadaan tietää lasersäteen tulo- ja lähtökulmat. Jotta jokainen laserkeilaimella mitattu piste voidaan saattaa oikeaan koordinaatistoon, täytyy ajoneuvon paikka ja asento tuntea jokaisella ajan hetkellä. Paikka mitataan satelliittipaikannuksella (GNSS) ja asento inertiamittausjärjestelmällä (IMU). Laserkeilaimen mitaamat etäisyys- ja kulmahavainnot yhdistetään GNSS- ja IMU-tiedoista muodostettuun rataan, jolloin saadaan laskettua mitatuille pisteille koordinaatit. Radaksi kutsutaan GNSS- ja IMU-tiedoista laskettua ratkaisua, ja se kuvaa mitausauton kulkemaa reittiä. IMU:n havaitsemia laserkeilaimen asennon kiertoja kolmitulotteisessa avaruudessa kutsutaan pitch-, yaw- ja roll-kierroiksi. Kuva 9 havainnollistaa mobiililaserkeilausjärjestelmän toimintaperiaatetta. [17, s. 269–270; 8, s. 21–25.]

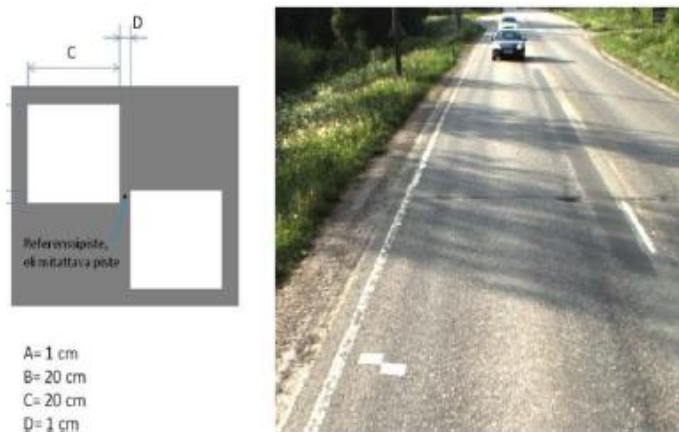


Kuva 9. Mobiililaserkeilauksen toimintaperiaate [8]

3.3 Mittaustavat

3.3.1 Signaloitu mittaus

Ennen mobiililaserkeilausta mitattava kohde voidaan signaloida. Signaloinnilla halutaan parantaa laserkeilauksen lopputarkkuutta. Signaalipiste on tiehen maalattu merkki (kuva 10), jonka sijainti on mitattu tarkasti xyz-koordinaatistossa. Mittausaineiston jälkikäsitelystä signaloitu kuvio voidaan havaita pistepilvestä ja sitä kautta pistepilvi voidaan sitoa tarkasti globaaliin koordinaatistoon. Kohteen signalointi on välttämätöntä, jos kohteella toteutetaan automaattisella koneohjauksella suoritettavia toimenpiteitä. [18, s. 19–20; 1, s. 18–19.] Signaloinnilla varmistetaan luotettava koneohjauksen tarkkuus.



Kuva 10. Tiehen maalattu signaali, jonka keskeltä mitataan tarkat koordinaatit [1].

3.3.2 Signaloimaton mittaus

Mobiililaserkeilaus voidaan tehdä myös signaloimattomasti. Tällöin mittausaineisto ei ole absoluuttisesti tarkka xyz-koordinaatistossa, vaan tarkka suhteessa vastaavan kohdan maanpintaan. Tarkkuus perustuu mittaushetkellä vallitsevaan GNSS-satelliittipaikannukseen ja mobiililaserkeilausjärjestelmän inertiamittausyksiköstä saataviin tuloksiin. Mobiilimittausjärjestelmä kerää paikannustietoa koko mittauksen ajan. Paikannustietoa hyväksikäyttäen mittausaineisto käsitellään ja sidotaan mahdollisimman tarkasti paikalliskoordinaatistoon. [1, s. 19; 18, s. 19.]

3.3.3 Tukiasemamittaus

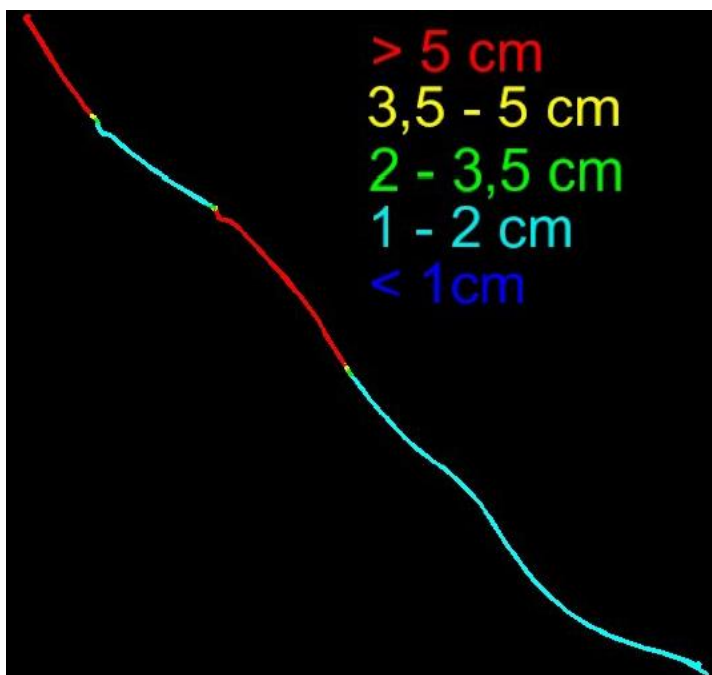
Tukiasemamittauksella päästään parhaimmillaan samalle tarkkuustasolle kuin signaaloidulla mittauksella. Tukiasemiin perustuvassa mobiililaserkeilauksessa käytetään GPS-tukiasemavastaanottimia satelliittipaikannuksen parantamiseen. Tukiasemavastaanottimia kutsutaan yleisesti RTK-tukiasemiksi. Tätä menetelmää käytettäessä signaalipisteitä ei tarvita. Tukiasemat asetetaan mitattavan tiekohteen varrelle ja orientoidaan tunnettuihin kiintopisteisiin sopivin välein. Tukiasemien kautta saatua paikannustietoa käytetään ajorataratkaisun laskemiseen. [18, s. 21.]

3.4 Päälysteen pintamallin muodostaminen mobiililaserkeilausaineistosta

Mobiililaserkeilauksesta saatu aineisto vaatii huomattavan määrän käsittelyä ennen kuin siitä voidaan muodostaa riittävän tarkka päälysteen pintamalli. Aineiston käsittely on tärkeimpiä tekijöitä tietomallipohjaisen suunnittelun onnistumiselle, koska aineiston käsittely ja säätäminen määrittelee pitkälti muodostettavan pintamallin laadun. Mobiililaserkeilausaineiston käsittely voidaan jakaa selkeästi erillisiin työvaiheisiin:

1. Mittausaineiston purkaminen tietokoneelle
2. Mittauksen GPS-paikannuksen tarkkuuden määrittäminen
3. Signaalipisteiden ja ajolinjojen yhteensovittaminen
4. Valokuva-aineiston käsitteleminen (jos valokuvia halutaan käyttää)
5. Tien mediaanipinnan luokittelu ja pintamallin muodostaminen.

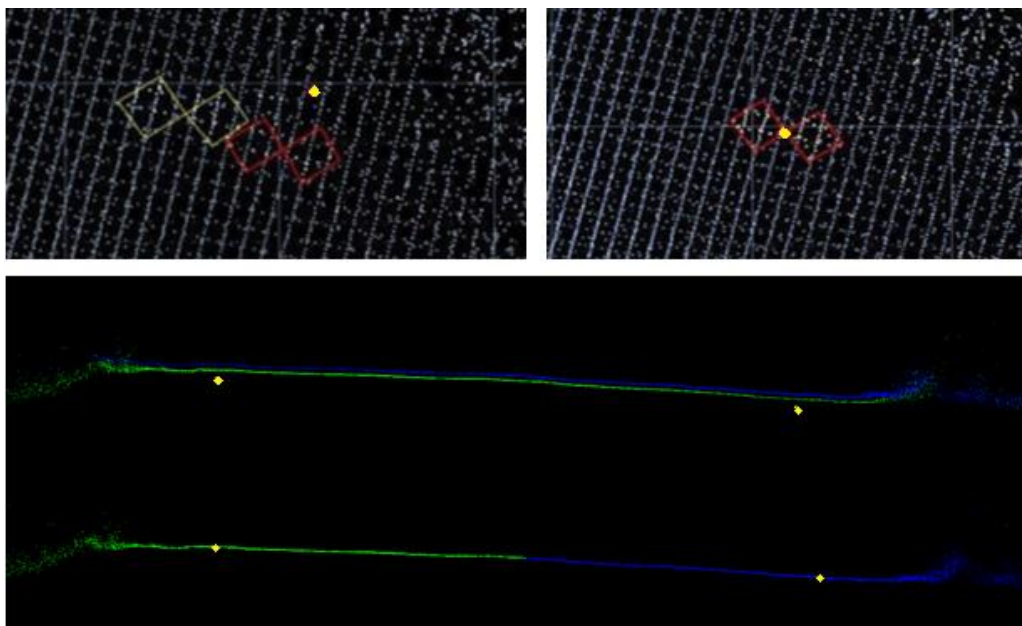
Aineiston purkaminen tietokoneelle on varsin rutiininomainen toimenpide, jossa suoritetaan tarvittavat määrittelyt ennen varsinaista aineiston prosessoinnin aloittamista. TerraScanissa määritellään haluttu koordinaattijärjestelmä ja kerrotaan laserkeilausjärjestelmästä saatavia tietoja, kuten järjestelmän kalibrointitiedot. Varsinaisen aineiston prosessoinnin aloittaa mittauksen GPS-tarkkuuden arviointi. Useimmat mobiililaserkeilausjärjestelmät, kuten esimerkiksi Trimble MX8 tuottaa jo laserkeilauksen aikana tiedot ajolinjojen arvioidusta tarkkuudesta (kuva 11). Tarkkuusarvon avulla ajolinjoille voidaan sovittaa painoarvot niiden yhteensovitusta varten ja saadaan selville kohdat, jotka vaativat enemmän prosessointia huonon GPS-tarkkuuden takia. [23, s. 29–30.]



Kuva 11. Mobiililaserkeilauksen GPS-tarkkuuden arviointi havainnollistettuna TerraScan-ohjelmistossa. Punainen kuvaa huonoa tarkkuutta ja sininen hyvää tarkkuutta. [23]

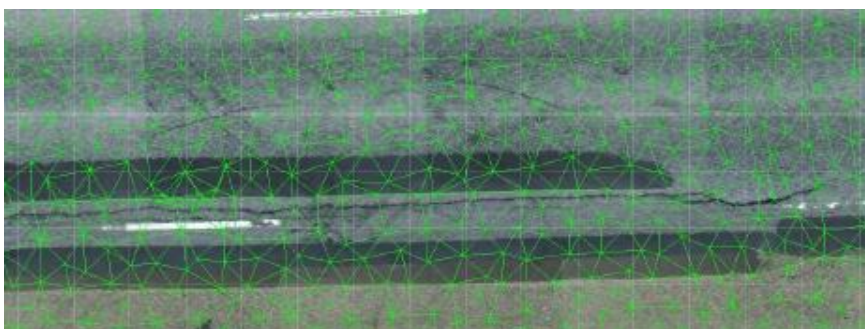
Ajolinjojen yhteensovittamisessa tärkeimpänä tekijänä ovat maalatut signaalipisteet. Maalatut signaalipisteet erottuvat pistepilvestä intensiteettierona muusta tienpinnasta. Ohjelmisto havaitsee signaalipisteet molemmista ajolinjoista automaattisesti ja sovittaa molempien ajolinjojen pistepilviaineiston vastaamaan signaalipisteiden xyz-sijaintia. Pistepilviaineistosta voidaan lisäksi havaita tienpinnan maalimerkintöjä, jotka erottuvat myös intensiteettierona muusta tienpinnasta. Signaalipisteiden havaitsemisen lisäksi ajolinjojen yhteensovittamista voidaan tehdä osoittamalla pistepilvestä maalimerkintöjä manuaalisesti. Kuva 12 havainnollistaa ajolinjojen yhteensovittamista. Kuvasta voidaan huomata ajolinjojen poikkeavuus toisistaan ja todellisesta sijainnista ennen yhteensovittamista. Keltaiset pisteet kuvaavat signalointipisteitä ja sininen sekä vihreä viiva ajolinjoja. Yhteensovittamisen jälkeen molempien ajolinjojen pistepilvet osuvat signalointipisteiden kanssa oikeaan kohtaan sekä vaaka- että pystysuunnassa. [8, s. 40–43.]

Mobiililaserkeilauksessa laserkeilain ottaa yleensä myös valokuvia jatkuvasti mittauksen aikana. Valokuvilla on aikaleimat, joten ne voidaan synkronoida pistepilven ja ajolinjojen kanssa. Aineiston käsittelyohjelmistossa valokuvia voidaan käyttää yhteensovittamisen apuna. Valokuvista on mahdollista tulkita tarkemmin signalointikuvio verrattuna pistepilven intensiteettikuvioon, ja tämän seurauksena on mahdollista luoda entistä tarkempi pintamalli. [23, s. 42.]



Kuva 12. Ajolinjojen yhteensovituksen havainnollistaminen TerraScan-ohjelmistossa. Ylemmässä kuvassa vasemmalla sovittamaton pistepilvi ja oikealla signaalipisteisiin sovitettu pistepilvi. Alemmassa kuvassa poikkileikkaus sovittamattomasta ja sovitetusta pistepilvestä. [8; 23.]

Onnistuneesti suoritettujen ajolinjojen yhteensovittamisen jälkeen mobiililaserkeilausaineiston tarkkuus on riittävä laadukkaasti pintamallin muodostamiseen. Pintamalli muodostetaan luokittelemalla pistepilviaineistosta tien pinta erilleen muusta pistepilvestä esiintyvistä aineistosta. Ohjelmistojen suorituskyvyn vaatimissa rajoissa pistepilveä harvennetaan, jolloin muodostuu harvempi kolmioverkko (kuva 13). Pistepilven harventamisessa on hyvä miettiä, kuinka harvaksi pistepilvi kannattaa harventaa, ettei pintamallin tarkkuus kärsi. [23, s. 41–42.]



Kuva 13. Otanta kolmioidusta pintamallista [23].

3.5 Mobiililaserkeilausaineiston tarkkuusanalyysi

Mittausprojektin hyvä suunnittelu on mobiililaserkeilauksen lopputuloksen kannalta tärkeimpiä tekijöitä. Jokaiselle projektille tulee asettaa tarkkuusvaatimukset lopputuotteelle, jotta voidaan suunnitella oikeanlainen mittausprojekti vastaamaan haluttua tarkkuutta. Tärkeä huomio hyvän tarkkuuden saamiselle on GNSS-suunnittelu. Ennen mittauksen suorittamista tulee miettiä, milloin satelliitit ovat parhaiten näkyvissä ja minkälaista GNSS-tekniikkaa tarvitaan saavuttamaan haluttu tarkkuus. Mobiililaserkeilauksen ajoireitti tulee lisäksi suunnitella niin, että satelliittinäkyvyys on mahdollisimman hyvä. Jos suunnitellulle ajoireitille on tiedossa katoksia GNSS-signaalissa, tulisi signaalointipisteitä lisätä tällä alueella. Yleisiä katoksen aiheuttajia ovat esimerkiksi metsäiset tiealueet. [8, s. 61.]

Mobiililaserkeilauksen tarkkuutta voidaan tutkia absoluuttisena ja sisäisenä tarkkuutena. Tarkkuuksia analysoitaessa tuleekin miettiä, tarvitaanko mahdollisimman hyvää absoluuttista tarkkuutta, sisäistä tarkkuutta vai molempia. Monesti mobiililaserkeilauksessa katsotaan pelkästään absoluuttista tarkkuutta, mutta päällysteiden kunnon analysoimisen kannalta hyvä absoluuttinen tarkkuus ei ole välttämättömyys. Päällysteen pintaa mallinnettaessa pistepilvellä tulisi olla hyvä sisäinen tarkkuus, jotta tien pinnasta lasketavista tunnusluvuista saataisiin todellisuutta vastaavat. [8.]

	Sovittamaton		Sovitettu
	Ajolinja 1	Ajolinja 2	Mediaanipinta
Keskiarvo (m)	-0,08	0,049	0
Minimi (m)	-0,296	-0,141	-0,003
Maksimi (m)	0,11	0,125	0,004
Keskihajonta (m)	0,109	0,056	0,002

Kuva 14. Esimerkki pistepilven jäännösvirheistä ennen ja jälkeen ajolinjojen yhteensovituksen [23].

Kuvasta 14 voidaan todeta, että ajolinjojen yhteensovitus on mobiililaserkeilauksen hyvälle tarkkuudelle tärkeä toimenpide. Sovittamattomassa pistepilvessä on yleensä huomattavan paljon virhettä sekä taso- että korkeussuunnassa, eikä aineistoa voida käyttää tarkkuutta vaativiin toimenpiteisiin. Yhteensovitetulla aineistolla päästään taso- ja korkeustarkkuuksissa alle senttimetrin virheisiin, jolloin aineistoa pystytään käyttämään

suunnittelun lähtötietona. Hyvä absoluuttinen tarkkuus on riippuvainen mobiililaserkeilausjärjestelmän paikannuksen tarkkuudesta. Lisäksi hyvä absoluuttinen vaatii riittävän määrän tarkalla mittaustekniikalla mitattuja signalointipisteitä. Hyvä suhteellinen tarkkuus on puolestaan riippuvainen laitteen hyvästä laadusta, kunnosta ja etenkin hyvästä kalibroinnista. [8.]

3.6 Mobiililaserkeilauksen tulevaisuus

Mobiililaserkeilaus on vielä melko uusi mittausmenetelmä, eikä sitä sen vuoksi osata vielä hyödyntää kovinkaan hyvin. Vaihtoehtoisia palveluntarjoajia on kuitenkin jo markkinoilla (esimerkiksi Riegl ja Trimble), ja koko ajan kasvavan osaamisen myötä mobiililaserkeilaus tulee varmasti yleistymään. Päälystysalalla mobiililaserkeilaus on tullut perinteisen PTM-mittauksen rinnalle tehostamaan teiden kunnan seuranta. Tällä hetkellä mobiililaserkeilauksia tehdään kuitenkin vain hanketasolla verrattuna verkkotasoiseen PTM-mittaukseen. Tulevaisuudessa voisi olla mahdollista, että myös mobiililaserkeilausta hyödynnettäisiin verkkotasoisessa päälysteiden kunnan seurannassa ja analysoimisessa. [2.]

Kuva- ja pistepilviaineistoa keräävät myös Nokia Here (kuva 15) ja Google omilla järjestelmillään. Yhtiöillä on maailmanlaajuisesti vahva asema kartantuotannossa ja he ovat keränneet aineistoa esimerkiksi automaattiohjauksen tarpeisiin. Mahdollisesti tulevaisuudessa Nokia Heren ja Googlen aineistot ovat käytettävissä myös tienpidon tarpeisiin, kuten mallipohjaisen suunnittelun lähtöaineistoksi. Mobiililaserkeilauksen rinnalle ovat tulleet myös UAV-järjestelmillä kuvatut ja kuvista muodostetut fotogrammetriset pistepilvet. Eri menetelmillä mitattuja pistepilviä yhdistelemällä ja vertailemalla voidaan löytää parhaat vaihtoehdot haluttuun tarkoitukseen. [24; 25.]



Kuva 15. Nokia Heren mobiilikartoitusjärjestelmä [26].

Tulevaisuudessa mobiililaserkeilauksen tarkkuus ja tehokkuus kehittyvät entisestään ja menetelmää voitaisiin alkaa testaamaan mitä erilaisimmissa kohteissa. Esimerkiksi pysäköintialueilla ja piholla ilmenee useasti kuivatukseen liittyviä ongelmia. Mobiililaserkeilauksesta saatua mittaustietoa voisi olla mahdollista käyttää lähtöaineistona näiden kohteiden mallipohjaiseen tasaus- ja jyrsintämäärien suunnitteluun kuivatusongelmien poistamiseksi. Toinen uusi käyttökohde voisi olla lentokenttien kiitotiet. Mobiililaserkeilauksen suorittaminen lentokentillä saattaisi nopeuttaa ja laadullisesti parantaa olemassa olevien kiitoteiden kunnan analysointia ja korjausta mallipohjaisen päällysteiden suunnittelun mahdollistuessa mobiililaserkeilausaineiston avulla. [2; 24.]

4 Päällystyskohteen nykytila-analyysi Finnmap Infra Oy:ssä

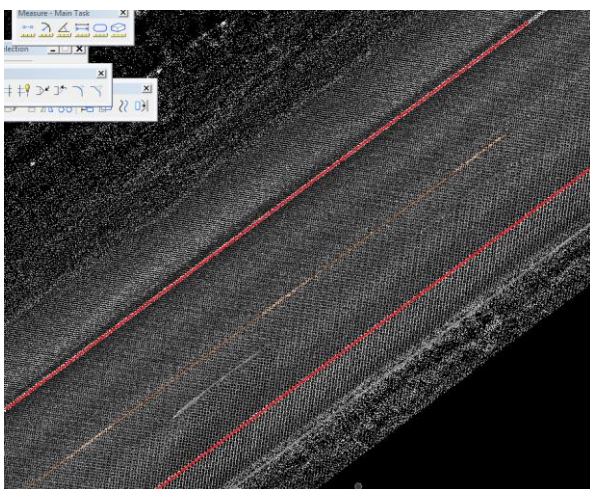
4.1 Nykyinen menetelmä

Tällä hetkellä nykyisen tienpinnan kunnan selvittäminen on monivaiheinen prosessi. Laserkeilaustekniikalla saatujen pistepilvien lisääntynyt hyödyntäminen infra-alalla luo mahdollisuuksia kehittää tienpinnan kunnan analysointiprosessia nopeampana ja automaattisempaan suuntaan. Mitattu pistepilvi sisältää hyvin paljon tietoa tiestä ja sen lähiympäristöstä. Aineistosta on mahdollista tehdä erilaisia analyyseja graafisesti ja numeerisesti. Graafiset analyysit tehdään Terrasolidin ohjelmistoilla ja Excel-taulukkolaskentaohjelmaa käytetään pistepilviaineiston numeeriseen tarkasteluun matemaattisia laskukaavoja hyödyntäen.

4.2 Työvaiheiden kuvaus

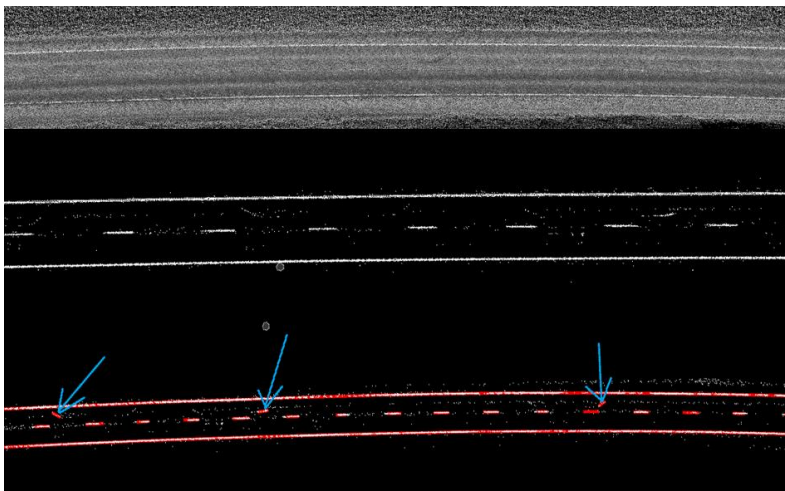
4.2.1 Tien maaliviivojen haku pistepilviaineistosta

Tien maaliviivojen eli taiteviivojen haku pistepilvestä on erityisen tärkeä työvaihe päällystyskohteiden mallipohjaisessa suunnittelussa. Maaliviivat määrittelevät tien reunat ja keskilinjat ja mitä tarkemmin ne saadaan pistepilvestä haettua, sen parempi lopputulos saadaan jyrä- ja tasauskohteita toteuttaessa. Käytännössä maaliviivojen haku pistepilvestä tehdään vielä pääosin manuaalisesti digitoimalla pistepilven intensiteettiarvoja hyödyntäen (kuva 16).



Kuva 16. Digitoitu tien keskilinja ja reunalinjat maaliviivojen perusteella pistepilven intensiteettiarvoa hyödyntämällä.

Manuaalisen digitoinnin lisäksi maaliviivoja voidaan hakea tiestä myös automaattisesti TerraScanin avulla. Ohjelma löytää maaliviivat kohtuullisen hyvin pistepilven intensiteettiarvojen avulla. Pistepilvestä erotellaan makroilla korkeaintensiteettiset pisteet erilleen muusta aineistosta kuvassa 17 näkyvällä tavalla. Automaattinen maaliviivojen vektorointi ei kuitenkaan aina ole täysin virheetöntä. TerraScan voi välillä tulkita maaliviivaksi myös muita korkean intensiteetin pisteitä. Automaattivektoroinnilla tehty maaliviivojen etsintä onkin syytä käydä vielä kauttaaltaan läpi manuaalisesti, jotta mahdollisilta virheilta vältytään. Etenkin bussipysäkit, liikenteenjakaajat ja liittymät voivat olla ongelmallisia kohtia automaattivektorointia tehtäessä.

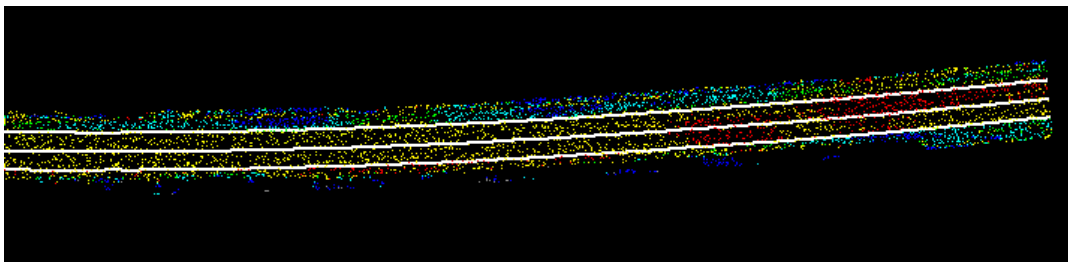


Kuva 17. Pistepilvestä on TerraScanin makrojen avulla eroteltu korkeilla intensiteettiarvoilla olevat maaliviivat, jonka jälkeen maaliviivat ovat automaattisesti vektoroitu. Siniset nuolet osoittavat vektoritulkinnan virheitä.

Maaliviivojen etsimiseen vaikuttaa oleellisesti myös viivojen näkyvyys tiessä. Kuluneet maaliviivat erottuvat pistepilvestä heikosti, ja niitä on vaikea digitoida tai etsiä automaattihauulla. Lisäksi päällysteen pinnassa oleva lika heikentää maaliviivojen näkyvyyttä. Tarpeeksi tiheä pistepilvi edistää pistepilven intensiteettierojen havaitsemista paremmin, jolloin TerraScanin automaattivektorointi voisi helpottua.

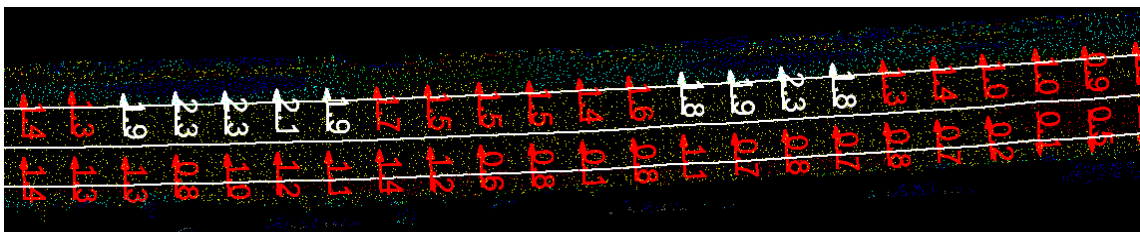
4.2.2 Graafiset analyysit pistepilvestä

Päällysteen kuntoa ja turvallisuutta voidaan kuvata TerraScanissa pistepilvestä tehtävillä graafisilla analyyseillä. Analyyseillä saadaan kohtuullisen helposti selkeä kuva tien kunnosta, jolloin päällysteiden korjaamisen suunnittelussa pystytään keskittymään huonokuntoisiin kohtiin tiessä. TerraScanin makroilla pistepilvi värjätään kokonaiskaltevuuksien mukaan. Ohjelma merkitsee jokaiselle pistepilven pisteelle väriarvon riippuen kyseisen pisteen kaltevuudesta tien pinnalla (kuva 18). Jokainen väri kuvastaa eri kaltevuutta tien pinnalla. Esimerkiksi punainen merkitsee heikkoa kaltevuutta ja vihreä hyviä kaltevuusarvoja.



Kuva 18. Esimerkki pisteiden värjäyksestä kokonaiskaltevuuksien mukaan.

Kaltevuuksien mukaan värikoodatun pistepilven tueksi voidaan esittää pistepilvestä lasketut tien sivukaltevuudet kaltevuusnuolilla (kuva 19). Kaltevuusnuolet esitetään yleensä 5 metrin välein. TerraScanissa kaltevuusarvoille voidaan asettaa haluttu raja-arvo heikon ja riittävän hyvän kaltevuuden määrittelemiseksi. Heikot kaltevuudet piirtyvät punaisiin kaltevuusnuolin ja riittävän hyvät kaltevuusarvot valkoisiin nuolin. Peruseriaatteena voidaan sanoa, että alle kahden prosentin kaltevuudet tiessä vaativat toimenpiteitä. Liian suurien kaltevuuksien määritelmä on vaikeampi, mutta esimerkiksi kaistojen väliset kaltevuuserot eivät saisi erota toisistaan liikaa.



Kuva 19. Sivukaltevuudet esitettynä 5 metrin välein.

4.2.3 Numeerinen tarkastelu Excelillä

Toinen hyväksi koettu menetelmä päällysteiden nykytilan analysoimisessa on tutkia mobiililaserkeilausaineistoa numeerisesti Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. VBA-koodia ja erilaisia funktioita hyödyntäen Excelissä voidaan laskea pistepilvestä erilaisia tunnuslukuja ja niitä voidaan värjätä halutuun arvovälein, jolloin tien kunnon tarkastelu helpottuu. Tunnuslukuja ovat esimerkiksi urasyvyudet, sivukaltevuudet ja pituuskaltevuuden muutosnopeuden kuvaaminen. Tyypillinen käytäntö pisteverkon tiheydelle Exceliin viettäessä on poikkisuunnassa 20 senttimetrin ja pituussuunnassa 1 metrin pisteväli. Pistepilven tihentäminen Excel-tarkastelua varten aiheuttaisi tarpeetonta laskenta-ajan kasvua, kun

harvennetulla pistetiheydellä saadaan myös analysoitua tiestä huonoja kohtia riittävällä tarkkuudella.

Liitteessä 1 olevissa taulukoissa on kuvattu esimerkki päällysteen nykytilan analysoimisesta Excelissä. Tien pinnan pituus- ja poikkikaltevuudet on saatu regressioanalyysin avulla. Sivukaltevuudet on laskettu sovittamalla regressiosuora koko kaistaleveyden havaintoihin 1 metrin välein ja pituuskaltevuudet on saatu laskettua 10 metrin liukuvalla regressiosuoralla. Lisäksi Excel analysoi sekä sivu- että pituuskaltevuuksien muutosnopeutta. Taulukoista näkee nopealla silmäyksellä, millä väleillä ongelmia päällysteen pinnassa esiintyy ja onko ongelmia koko tien leveydellä vai esimerkiksi vain tien reunassa. Samalla tavalla kuin TerraScanin analyyseissä, myös Excel-taulukoissa punainen väri kertoo tien huonosta kunnosta ja vihreä väri kuvastaa normaalikuntoista tietä.

4.2.4 Videon tekeminen

TerraScanissa tehdyistä graafisista analyyseistä voidaan koota video havainnollistamaan tien nykytilaa (kuva 20). Video on hyvä keino nopeaan tien kunnon yleistilanteen tarkasteluun, ja sitä voidaan käyttää mallipohjaisen suunnittelun apuvälineenä esiteltäessä tai perusteltaessa päällystettävien kohteiden valintaa. Videolla on hyvä esittää ainakin paalulukemat, sivu- ja pituuskaltevuusnuolet sekä kokonaiskaltevuuksien mukaan värikoodattu pistepilvi. Videolle on myös mahdollista lisätä omia merkintöjä, kuten huomautusmerkintöjä erityishuomiota vaativista kohdista tai Excel-taulukoista tietoja, esimerkiksi nykyiset sivukaltevuustiedot verrattuna suunniteltuihin kaltevuuksiin.



Kuva 20. Nykytila-analyysistä tehty video [2].

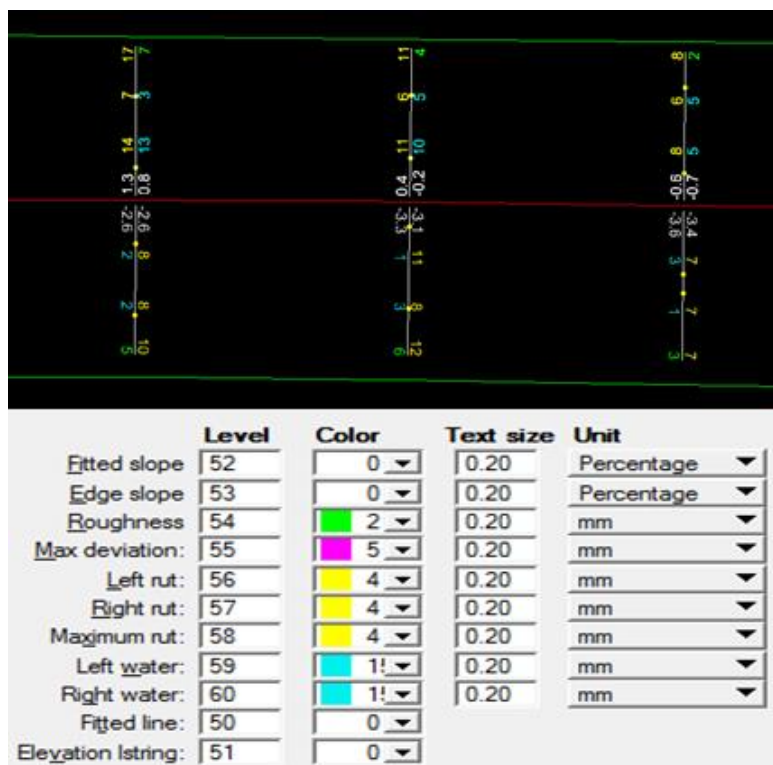
5 Nykytila-analyysin kehittäminen

Nykytila-analyysissä ei hyödynnetä vielä kaikkia TerraScanin tarjoamia mahdollisuuksia analysoida tien pintakuntoa. Excel on toiminut tähän mennessä pääasiallisena analysointityökaluna sen selkeälukuisten taulukoiden takia. TerraScanin käytetään pistepilven kokonaiskaltevuuksien ja kaltevuusnuolien laskennassa, minkä jälkeen kaltevuusvärjätystä pistepilvestä tehdään video havainnollistamaan päällystettävän kohteen kuntoa. Aineistomäärien kasvaessa selkeiden raporttien tuottaminen tien pintakunnosta voi kuitenkin olla hankalaa ja hidasta. Suuret aineistot kuormittavat Excel-taulukoita ja hidastavat taulukoiden toimintaa, jolloin TerraScan voi olla tehokkaampi ohjelma analysoida pistepilviaineistosta päällysteen kuntoa. Erityisen tärkeää olisi saada tien huonot kohdat selville mahdollisimman helposti. Seuraavissa luvuissa tutkitaan sellaisia TerraScanin ominaisuuksia, joita ei ole vielä hyödynnetty päällystyskohteiden nykytila-analyseissa, ja etsitään kehitysideoita tehostamaan päällystyskohteen nykytilan analysoimista.

5.1 Poikkileikkausparametrit

Tien pinnasta saadaan TerraScanissa laskettua erilaisia tien kuntoa kuvaavia parametreja (kuva 21), joista tärkeimpiä ovat sivukaltevuustiedot, erilaiset urasyvytydet ja pääl-

lysteen karheustiedot. Laskennassa käytetään mobiililaserkeilattua pistepilveä kuvaamaan tienpintaa, josta TerraScan tarkastelee tien poikkileikkauksia halutuun määrävälisiin. Poikkileikkausparametrien laskentaperiaatteet on pyritty kehittämään niin, että ne vastaavat PTM-mittauksille tehtävää päällysteen kuntotiedon laskentaa [32]. TerraScanin poikkileikkausparametrien laskentaperiaatteet kuvataan liitteessä 2.

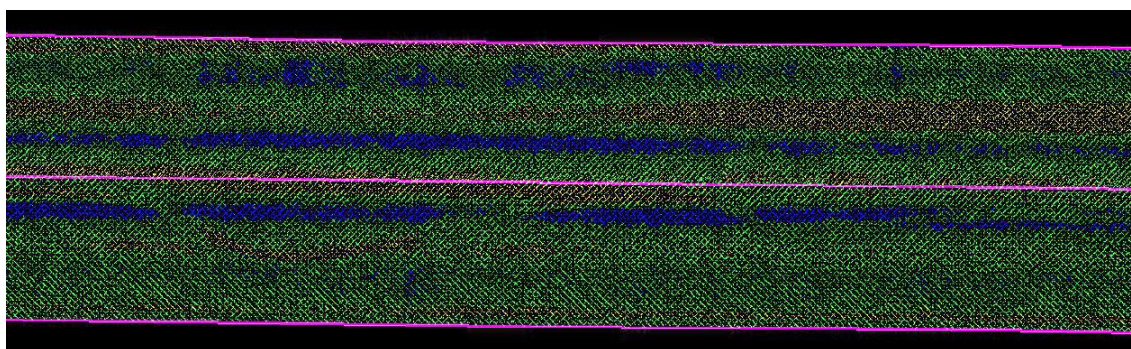


Kuva 21. Pistepilvestä laskettuja poikkileikkausparametreja esitettyä kartalla. Vihreät viivat ovat digitoituja tien reunoja ja punainen viiva on tien keskilinja.

Poikkileikkausparametrit ovat hyvä ja yksinkertainen tapa selvittää tien kuntoa. Laskenta tapahtuu nopeasti ja laskentatulokset saadaan helposti esitettyä kartalla. Karttaesityksestä ei kuitenkaan käy suoraan ilmi, mistä kohtaa päällyste on huonokuntoinen. Jokaiselle parametrille voidaan asettaa oma värinsä kuvaamaan tietynlaista ominaisuutta, mutta värikoodausta huonokuntoisen ja hyväkuntoisen tien raja-arvoille ei voida antaa, kuten luvussa 4.2.2 esitettyssä sivukaltevuusnuolien laskennassa. Värikoodauksen puuttuminen hidastaa nykytila-analyysiä, mutta poikkileikkausparametrien laskennasta on mahdollista tallentaa tekstitiedostona raportti, jota voi tarkastella kätevästi Excelissä (liite 3). Exceliin on mahdollista kehittää hyvä työkalu poikkileikkausparametrien tutkinnalle, jolloin parametrien laskentatyökalusta tulee varmasti entistä käytännöllisempi ja tehokkaampi hyödyntää nykytila-analyysissä.

5.2 Urien ja kuoppien visualisointi

Urien ja kuoppien etsintä pistepilvestä on tarkoitettu tien pintakunnon visuaaliseen tarkasteluun. Urat ja kuopat saadaan TerraScanissa havainnollistettua kartalle (kuva 22), jonka jälkeen voidaan todeta nopealla tarkastelulla ongelmakohdat tiestä. Menetelmän toimintaperiaate on vertailla tien yksinkertaisen taiteviivamallin ja pistepilven korkeuseroja. Digitoiduista tien reunaviivoista ja keskilinjasta muodostetaan yksinkertainen päällysteen pintamalli. TerraScanissa pistepilvestä värjätään eri värillä uria ja kuoppia kuvaamaan kaikki pisteet, jotka ovat yli 2 senttimetriä yksinkertaista taiteviivamallia alempana.



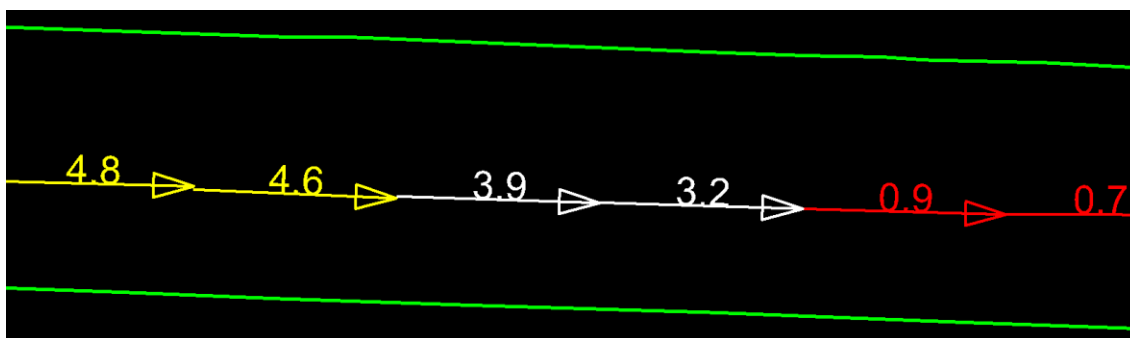
Kuva 22. Urien havainnollistaminen TerraScanissa. Pistepilvestä on värjätty uria kuvaavat pisteet siniseksi. [29]

Visualisointi erottuu edukseen etenkin silloin, kun pistepilviaineistoa on saatavilla suuret määrät. TerraScanissa pistepilvestä voidaan poistaa kaikki muut pisteet ja jättää vain uria sekä kuoppia kuvaavat pisteet jäljelle. Tällöin pistepilvestä tulee paljon pienempi tiedostokooltaan, jolloin sitä on nopeampi tarkastella tietokoneella ja verkkotasosta pistepilveä silmällä pitäen tämä menetelmä voi olla hyvinkin käyttökelpoinen. Visualisoinnista ei ole kuitenkaan mahdollista tuottaa raportteja, jota voisi tarkastella sellaisenaan tai esimerkiksi viedä Exceliin tarkasteltavaksi.

5.3 Pituuskaltevuuden laskentatyökalun kehittäminen

TerraScanista saadaan sivukaltevuusnuolien lisäksi ulos myös pituuskaltevuusnuolet (kuva 23). Laskentaperiaate on muuten samanlainen kuin sivukaltevuuksien laskennassa, mutta pituuskaltevuuslaskennassa TerraScan laskee pistepilvestä pituussuunnassa kaltevuusarvoja halutuin välein. Tyypillisesti pituuskaltevuuslaskenta on tehty 5

metrin välein ja kaltevuuksille määritellään värilliset raja-arvot kuvaamaan kaltevuuden tasoja.



Kuva 23. Pituuskaltevuudet esitettyinä 5 m:n välein. Alle prosentin kaltevuudet on määrätty punaisen väriseksi, yli neljän prosentin kaltevuudet keltaiseksi.

Nykytila-analyysissä pituuskaltevuutta on analysoitu tällä hetkellä luvussa 4.2.3 esitetyn numeerisen Excel-tarkastelun avulla. TerraScanin pituuskaltevuusnuolia ei juurikaan hyödynnetä päällysteen nykytilaa analysoitaessa. Tämä johtuu siitä, että TerraScan ei tulkitse pistepilvestä pituuskaltevuuden muutosnopeutta toisin kuin Exceliin koodattu laskentaohjelma. Pituuskaltevuusnuolet kertovat tien kaltevuuden pituussuunnassa esimerkiksi viiden metrin matkalla, mutta tärkeää olisi myös tietää, kuinka nopeasti pituuskaltevuus muuttuu. Liian nopeat tai hitaat pituuskaltevuuden muutokset vaikuttavat tien ajomukavuuteen sekä turvallisuuteen. Mallipohjaisessa suunnittelussa on tärkeää puuttua myös pituuskaltevuuden ongelmakohtiin ja pyrkiä parantamaan päällysteen kuntoa tältäkin osin. TerraScaniin voisi olla mahdollista rakentaa pituuskaltevuuden muutosnopeuksia havainnoiva työkalu, jolloin ohjelma palvelisi entistä paremmin nykytila-analyysin tarpeita [28]. Samalla Excel-käsittely vähenisi ja lähes koko nykytila-analyysi olisi mahdollista suorittaa TerraScanin avulla.

6 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin, miten mobiililaserkeilausaineistoa voidaan hyödyntää monipuolisemmin ja tehokkaammin päällystyskohteiden nykytilaa analysoitaessa. Työn tavoitteena oli kehittää Finnmap Infran tietomallipohjaista päällysteiden suunnittelua nykytila-analyysin osalta. Tutkimus suoritettiin selvittämällä ensin teiden kunnossapidon teoriaa. Toisessa osassa käsiteltiin mobiililaserkeilausta ja arvioitiin mittauksessa tuotetun pistepilven soveltuvuutta nykytila-analyysin lähtötiedoksi. Insinööriyön viimeisessä

vaiheessa perehdyttiin päällystyskohteiden nykytila-analyysiin yhdessä tämän työn ohjaajien kanssa ja etsittiin nykyisestä menetelmästä parannusehdotuksia.

Mobiililaserkeilauksen tuottaman pistepilven tarkkuutta tarkasteltiin absoluuttisena ja sisäisenä tarkkuutena. Pistepilven jälkikäsitteily todettiin olevan erityisen tärkeää, kun haluttiin muodostaa luotettava ja tarkka päällysteen pintamalli mallipohjaista suunnittelua varten. Mallipohjaisessa päällysteiden suunnittelussa olennaiseksi asiaksi koettiin pistepilven hyvä sisäinen tarkkuus. Automaattisella koneohjauksella toteutetuilla työmailla korostui myös mobiililaserkeilausaineiston hyvä absoluuttinen tarkkuus.

Nykytila-analyysin toimivuutta selvitettiin tutkimalla nykyisen menetelmän toimintatapoja. Menetelmä todettiin yleisesti toimivaksi, mutta turhan monivaiheiseksi prosessiksi. Etenkin mobiililaserkeilausaineistojen kasvaessa havaittiin nykytila-analyysin tekemisen hidastuvan verrattuna pienempiin päällystysuunnitteluhankkeisiin. TerraScanista löydettiin kuitenkin uusia ominaisuuksia tehostamaan nykytila-analyysiä. Tien maaliviivojen automaattinen vektorointi pistepilvestä nopeutti huomattavasti työskentelyä verrattuna maaliviivojen digitointiin. Sivukaltevuusnuolien laskenta toimi hyvänä tukena Excel-tarkastelulle tien kuntoa analysoitaessa. Pistepilvestä saatiin esille myös urat visuaalista tarkastelua varten. Poikkileikkausparametrien laskennalla saatiin helposti monipuolista tietoa tien kunnosta, ja erityisesti parametrien vienti Exceliin oli hyvä lisä päällysteen nykytilaa analysoitaessa.

Mobiililaserkeilaus on mittaustekniikkana vielä melko uusi ja tulee ajan myötä kehittymään entisestään. Aineistojen kasvaessa pistepilviaineiston tarkastelu Excelissä voi koi-tua liian raskaaksi, mutta TerraScan pystyy käsittelemään suuriakin aineistoja melko vaittomasti. Ohjelman kehittyessä entisestään, on mielenkiintoista nähdä mitä kaikkea nykytila-analyysissä pystyy tekemään. Seuraava kokeilemisen arvoinen askel voisi olla verkkotasoiset pistepilvet, kunhan niitä tulee saataville.

Lähteet

- 1 Marttinen, Manu, Pienimäki, Markku. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015, Osa11.1 Inframallinnus päällysteiden korjaamisessa. Verkkodokumentti. <<http://www.infrabim.fi/yiv2015/>>. 29.9.2015. Luettu 14.2.2016.
- 2 Niemi, Petri. 2014. Mallipohjaisen suunnittelun hyödyntäminen ylläpidon päällystyskohteissa – ”Päällystysoptimointi”, Case Kt55. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 3 Finnmap Infra Oy:n kotisivut. < <http://www.finnmap-infra.fi/palvelut/tietopalvelut/>>. Luettu 14.2.2016.
- 4 Onninen, Heikki. 2001. Palvelutasomittaus (PTM) tien rakenteen parantamisen suunnittelussa. 31.12.2001.
- 5 Tiehallinto. 2007. Käsikirja päällysteiden pinnan kunnon mittaamiseen. Helsinki: Edita Prima Oy.
- 6 Teiden kunnossapito. 2016. Verkkodokumentti. Liikennevirasto <http://www.liikennevirasto.fi/tieverkko/kunnossapito#.VsLL5EbD_Qk>. 2.12.2016. Luettu 15.2.2016
- 7 Dietrich, Jaakko. 2009. PTM-vertailukokeet ja mittaustulosten käsittely. PANK-menetelmäpäivä. <http://pank.fi/file/318/jaakko_dietrich.pdf> . 22.1.2009. Luettu 16.2.2016
- 8 Gröhn Simo. 2013. Mobiilin laserkeilauksen soveltuvuus tiemittauksiin. Diplomityö. 13.10.2013. Aalto-yliopisto, maankäyttötieteiden laitos. Luettu 21.2.2016
- 9 Pekkala, Janne. 2015. 3D-Laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentaminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 58/2015. 9.9.2015.
- 10 Tieomaisuuden kunnon yhtenäinen palvelutasoluokitus. 2004. Tiehallinnon selvityksiä 32/2004. Tiehallinto.
- 11 Virtala, Pertti, Hurtig, Eetu. 2012. Tien haitallisten sivukaltevuusmuutosten tunnistaminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 35/2012.
- 12 Pienimäki, Markku. 2011. Liikenneväylät luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 12.1.2011.
- 13 Marttinen, Manu. 2015. Tien käytönaikaisen tiedon hallinta ja hyödyntäminen ylläpidon näkökulmasta. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ymÄristötekniikan laitos. 10.8.2015.

- 14 Liikenneväylien korjausvelan vähentäminen ja uusien rahoitusmallien käyttö. 2014. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 35/2014. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- 15 Liikenneväylien korjausvelka. 2016. Lähtökohdat ja korjausvelkaohjelma 5.2.2016. Liikennevirasto.
- 16 Korjausvelkaohjelma. 2016. Verkkodokumentti. <http://www.liikennevirasto.fi/liikennejarjestelma/korjausvelkaohjelma#.VukTK0bD_Qk>. Liikennevirasto. 15.3.2016. Luettu 16.3.2016.
- 17 Laurila, Pasi. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 2012. Rovaniemi: Rovaniemen Ammattikorkeakoulu.
- 18 Ajoneuvolaserkeilaus tien painuman mittauksessa. 2015. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2015. Liikennevirasto.
- 19 Kuntotiedon käyttö tie- ja katuverkon ylläpidon päätöksenteossa. 2005. Tiehallinnon selvityksiä 7/2005. Tiehallinto.
- 20 Virtala, Pertti. 2014. Tien rakenteellinen kunto. 5.3.2014. Kalvosarja.
- 21 Pienimäki, Markku, Niemi, Petri. 2016. Päälysteiden mallipohjaisen korjaussuunnitelman laatiminen. Päälysteturssit 2016, kalvosarja.
- 22 Väyläverkoston yhtenäinen luokittelu kunnossapidon suunnittelua varten. 2012. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 10/2012. Liikennevirasto.
- 23 Leinonen, Jussi. 2014. Tieväylien päälysteenkorjauksen tietomallipohjaisen suunnittelumenetelmän kehittäminen. Diplomityö. Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. 4.2.2014.
- 24 Niemi, Petri, osastopäällikkö, Pienimäki, Markku. kehityspäällikkö.2016. Finnmap Infra Oy. Palaveri 14.3.2016.
- 25 Donk, David. 2016. HERE. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 31.5.2016.
- 26 HEREn kotisivu. Verkkosivu. <<https://company.here.com/enterprise/location-content/here-map-data/>>. Luettu 28.7.2016.
- 27 Virtala, Pertti. 2014. Tieverkon ylläpito, kalvosarja. 5.11.2014.
- 28 Soininen, Arttu. Terrasolid Oy. Palaveri 16.5.2016.

- 29 Soininen, Arttu. Terrasolid Oy. 2015. Keilauksen lopputuotteet tiekohteissa, kalvosarja. 3.12.2015.
- 30 Soininen Arttu. Terrasolid Oy. 2014. New Fearutes in TerraScan, kalvosarja.

Päällystyskohteen nykytila-analyysi Excelissä

Paalu	-1.2	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	+0.0	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8	+1.0	+1.2	+1	Laske Pituus_Hajonnat	+2	Näytä Hajontasumman Kaikki Ri							
695	0.71	0.56	0.42	0.54	0.39	0.40	0.26	0.40	0.61	0.85	0.69	0.89	1.58	0.99	0.75	0.55	0.75	1.18	0.98	0.91	1.07	0.59	0.53	0.68
705	1.71	1.44	1.19	0.79	0.71	0.74	0.57	0.70	1.10	1.07	1.41	1.36	1.64	1.60	1.53	1.68	1.36	1.63	2.09	1.86	1.56	1.59	1.86	1.70
715	1.05	1.06	0.76	0.70	0.91	1.27	1.19	1.53	1.60	1.78	1.29	1.61	1.55	1.07	0.95	0.74	0.85	1.62	1.57	1.01	0.72	0.66	0.58	0.36
725	0.74	0.95	0.64	0.79	1.20	1.00	1.24	1.10	0.76	0.63	0.93	0.96	0.73	0.73	0.77	0.63	0.90	0.92	0.70	0.62	0.44	0.43	0.62	0.41
735	0.51	0.35	0.37	0.36	0.44	0.77	0.65	0.73	0.76	0.63	0.86	0.65	0.68	0.58	0.31	0.36	0.51	0.53	0.66	0.63	0.55	0.50	0.39	0.46
745	0.73	0.82	0.91	0.86	0.43	0.42	0.25	0.27	0.62	0.93	0.83	0.96	0.69	0.51	0.35	0.72	1.07	0.38	0.55	0.65	0.28	0.48	0.39	0.43
755	1.81	1.69	1.42	1.50	1.32	0.89	0.62	0.42	0.48	0.50	0.72	1.03	0.52	0.27	0.66	0.70	0.76	0.74	0.69	0.61	0.40	0.34	0.39	0.53
765	0.88	0.85	0.94	1.02	1.11	0.89	0.96	1.00	1.02	1.02	0.91	0.69	0.85	1.11	1.00	1.13	1.11	1.05	1.31	1.02	0.88	0.92	1.01	1.33
775	1.45	1.27	0.94	0.98	1.04	0.64	0.57	0.73	0.73	0.62	1.26	1.06	1.44	0.58	0.61	0.48	0.53	0.67	1.10	0.81	0.55	0.32	0.46	0.62
785	0.66	0.58	0.61	0.50	0.73	1.48	1.72	1.50	1.33	0.63	1.10	1.35	1.15	0.86	0.93	0.95	0.58	0.76	1.21	1.06	0.80	1.09	0.86	0.84
795	0.61	0.61	0.52	0.33	0.38	0.72	0.41	0.40	0.30	0.23	0.53	0.50	0.41	0.29	0.40	0.33	0.45	0.60	0.84	0.83	0.67	0.38	0.30	0.28
805	1.17	0.83	0.60	0.50	0.51	0.36	0.35	0.75	0.50	0.91	0.61	0.56	0.74	0.83	0.51	0.55	0.69	0.52	0.66	0.76	0.93	0.39	0.32	0.47
815	0.90	0.59	0.68	0.76	0.80	0.80	0.67	0.59	0.72	0.62	0.65	0.71	0.53	0.78	0.98	0.71	0.61	0.97	1.16	0.75	0.86	0.35	0.30	0.46
825	0.99	0.58	0.44	0.49	0.55	0.58	0.70	0.32	0.44	0.47	0.45	0.71	0.75	0.71	0.49	0.26	0.32	0.42	0.59	0.93	1.09	0.98	0.61	0.88
835	0.75	0.57	0.64	0.96	0.77	0.99	1.11	0.87	0.69	0.73	0.52	1.07	0.66	0.48	0.68	0.65	0.53	0.64	0.77	1.04	0.60	0.33	0.54	0.48
845	0.79	0.77	0.56	0.66	0.91	0.76	0.65	0.36	0.46	0.18	0.47	0.54	0.93	0.38	0.49	0.34	0.86	1.17	0.83	0.56	0.54	0.55	0.59	0.54
855	1.78	1.69	1.99	2.05	2.20	2.18	1.85	1.66	1.45	1.35	1.46	1.35	1.49	1.26	0.77	0.88	1.39	1.26	1.53	1.15	1.17	1.46	1.43	1.32
865	0.94	1.19	1.13	1.06	0.76	0.59	0.73	1.18	0.95	1.10	1.09	0.79	0.90	1.37	1.43	1.17	0.98	0.95	0.76	0.77	1.13	0.74	0.69	0.77
875	1.35	1.49	1.47	1.25	0.82	0.76	0.64	0.52	0.24	0.49	0.56	0.75	0.98	0.72	0.50	0.58	0.86	0.71	0.55	0.88	0.58	0.39	0.31	0.32
885	0.96	0.99	1.07	1.07	0.93	0.80	0.65	0.43	0.45	0.58	0.84	1.04	1.07	0.68	0.57	0.42	0.30	0.47	0.90	0.88	0.42	0.31	0.25	0.31
895	1.05	0.78	0.62	0.71	0.62	0.39	0.82	0.90	0.62	0.60	0.66	0.40	0.65	0.82	0.66	0.55	0.76	0.86	0.98	1.09	1.05	0.67	0.64	
905	0.32	0.29	0.29	0.34	0.51	0.55	0.99	1.10	0.90	1.14	1.38	0.88	0.98	0.83	0.98	1.13	1.13	1.18	0.62	0.49	0.53	0.46	0.16	0.20
915	0.35	0.26	0.47	0.58	0.62	0.73	1.15	1.08	0.82	1.21	0.81	0.86	0.69	0.50	0.36	0.77	0.95	0.42	0.47	0.48	0.32	0.28	0.37	0.54
925	2.15	1.96	1.75	2.17	2.08	1.26	0.80	0.45	0.83	0.95	0.86	0.76	0.39	0.70	0.79	0.59	0.92	0.49	0.57	0.55	0.49	0.39	0.28	0.45
935	0.44	0.54	0.73	0.70	0.99	1.19	1.36	1.64	2.10	1.97	1.91	2.11	1.89	2.00	2.41	2.51	2.09	2.36	2.46	2.76	2.57	2.70	2.73	2.68
945	1.96	1.89	1.94	1.73	1.62	1.05	1.23	1.00	0.75	0.84	1.12	1.00	0.72	0.92	1.09	0.85	0.77	0.98	0.64	0.87	0.93	0.93	1.06	0.91
955	1.48	1.36	1.22	1.15	0.63	0.97	1.01	0.79	0.98	1.44	1.19	1.11	1.10	0.83	0.64	1.17	0.98	0.62	0.62	0.75	0.63	0.66	0.84	0.86
965	0.80	0.68	0.72	0.67	0.71	0.74	0.56	0.73	1.12	0.66	0.94	1.04	1.19	1.24	1.22	1.42	1.26	1.02	1.21	1.10	1.15	1.32	0.96	0.60
975	0.94	0.96	0.76	0.67	0.85	0.96	0.89	1.16	1.11	1.12	1.57	1.89	2.06	2.29	2.43	2.49	2.33	2.88	3.08	3.35	3.67	4.29	4.70	4.11
985	1.32	1.60	2.51	2.55	2.42	3.02	3.30	3.27	3.43	4.08	3.90	4.11	4.37	3.61	3.24	4.67	4.69	4.81	4.78	4.80	4.26	4.66	3.80	3.21
995	0.44	0.54	0.49	0.67	0.77	1.22	2.36	1.85	1.74	2.43	2.47	2.29	2.68	2.73	2.30	2.11	2.10	3.16	2.71	2.88	3.06	3.03	2.87	2.85
1005	2.10	2.23	2.28	2.23	2.19	1.79	1.32	2.26	2.53	1.54	1.83	2.31	2.08	1.68	1.62	1.35	1.95	1.93	1.54	1.35	1.05	0.84	0.57	0.37
1015	2.88	2.74	3.10	3.10	2.90	2.35	2.05	3.93	4.02	3.65	4.45	4.33	3.42	3.33	3.09	3.01	3.44	3.24	2.15	2.60	3.97	3.34	3.40	2.70
1025	2.21	1.92	2.41	2.29	2.91	2.69	3.23	2.99	1.70	2.41	2.11	1.99	2.13	1.58	2.18	2.08	1.52	1.64	1.87	2.84	2.38	2.76	1.92	1.75
1035	3.63	3.52	3.57	3.17	3.87	3.31	3.95	6.39	6.19	5.05	5.45	5.88	4.40	3.71	4.11	4.48	5.74	4.32	4.52	5.20	3.82	5.71	5.43	6.07
1045	0.86	1.19	1.59	1.49	0.97	0.87	2.61	2.21	1.46	2.45	2.97	3.40	2.29	2.81	2.37	2.56	2.27	2.58	3.03	2.33	2.10	2.51	3.42	2.14
1055	1.53	2.22	2.42	2.09	1.33	2.03	2.63	2.01	1.93	1.24	1.08	2.25	2.25	1.22	0.87	0.58	1.66	1.21	1.78	2.26	1.20	0.87	1.43	0.86
1065	1.56	1.22	1.45	1.96	1.31	0.97	1.22	1.51	1.46	1.46	0.61	0.85	0.98	1.38	1.36	1.06	1.50	1.53	1.35	1.21	1.72	1.67	1.05	1.19
1075	2.36	1.81	2.08	3.10	3.22	3.28	3.73	3.07	4.93	5.51	5.54	5.53	4.76	4.85	5.81	5.45	5.62	6.50	6.49	6.50	6.08	6.34	6.70	6.47
1085	3.05	2.06	2.52	2.47	1.94	3.21	3.00	2.81	2.55	1.99	1.32	1.11	0.99	1.78	0.93	2.94	1.33	0.99	0.56	0.46	0.80	1.29	1.24	0.97
1095	0.44	1.01	1.13	1.23	1.70	1.80	0.91	2.59	1.35	0.65	0.99	0.55	1.04	1.29	0.66	2.52	2.09	1.16	0.77	0.97	0.91	1.40	2.28	2.74
1105	4.62	5.14	4.95	4.39	4.02	4.93	5.99	7.01	6.85	6.60	6.60	6.49	6.24	5.58	5.94	5.46	6.03	5.83	5.47	5.75	5.84	6.06	5.87	6.97
1115	0.56	0.68	0.62	0.46	0.60	1.00	0.78	0.84	1.48	2.01	2.21	1.31	1.78	1.92	2.73	2.49	1.61	2.15	2.28	1.93	1.70	2.13	1.99	2.81
1125	1.92	2.65	2.39	1.47	3.15	2.43	1.15	2.41	3.03	2.99	3.07	2.81	2.44	2.05	1.41	1.58	2.41	1.98	2.32	2.29	2.17	1.92	1.59	1.50
1135	0.85	0.48	0.32	0.78	1.47	1.37	1.07	1.27	1.11	1.05	1.12	1.03	0.64	0.91	1.04	0.84	1.07	0.86	0.77	0.75	0.71	1.15	1.14	1.59
1145	1.93	2.07	1.35	1.31	1.30	1.79	1.10	1.89	1.04	0.73	0.83	0.91	1.55	2.31	0.77	0.84	1.72	1.35	1.19	1.21	0.96	0.42	0.48	1.36
1155	1.21	1.51	0.42	1.29	1.33	1.10	1.45	1.60	1.76	1.84	1.72	1.60	1.27	1.22	1.10	1.39	1.07	1.22	1.41	1.38	1.69	1.51	1.86	1.41
1165	1.54	2.02	1.83	1.48	1.58	2.29	1.20	0.57	0.51	0.71	0.42	0.56	0.74	0.79	0.86	1.47	1.33	0.85	0.79	0.47	0.33	0.28	0.55	1.28
1175	2.14	2.13	2.47	2.13	2.67	3.21	2.64	1.73	2.21	2.30	1.67	1.74	2.04	1.93	1.62	1.54	1.62	1.07	1.05	0.91	0.94	0.70	0.90	0.52
1185	3.55	3.28	2.58	3.89	4.63	3.99	3.96	4.51	4.40	4.81	5.03	5.39	4.59	5.21	6.32	6.33	6.23	6.44	6.37	6.74	7.16	7.16	7.29	7.66

Kuva 1. Pituuskaltevuuden muutosnopeuden analyysi pisteilvestä Excel-taulukossa.

Paalu	Sivukaltevuus				Muutos 10 m:llä	
	v-%	v-ka	o-%	o-ka	v-muutos	o-muutos
5831	-2.775	-2.767	1.315	1.343	0.191	0.157
5832	-2.813	-2.794	1.322	1.326	0.163	0.141
5833	-2.819	-2.824	1.308	1.312	0.120	0.124
5834	-2.812	-2.844	1.312	1.300	0.070	0.109
5835	-2.825	-2.855	1.278	1.294	0.013	0.096
5836	-2.894	-2.857	1.271	1.291	0.050	0.081
5837	-3.009	-2.847	1.271	1.290	0.125	0.070
5838	-3.023	-2.827	1.279	1.287	0.213	0.065
5839	-2.920	-2.797	1.255	1.280	0.295	0.065
5840	-2.813	-2.758	1.296	1.269	0.361	0.075
5841	-2.726	-2.717	1.294	1.263	0.409	0.096
5842	-2.663	-2.669	1.308	1.256	0.429	0.123
5843	-2.591	-2.612	1.285	1.247	0.425	0.150
5844	-2.497	-2.549	1.235	1.235	0.398	0.177
5845	-2.377	-2.494	1.191	1.218	0.342	0.199
5846	-2.375	-2.449	1.206	1.195	0.265	0.226
5847	-2.370	-2.418	1.201	1.168	0.175	0.257
5848	-2.373	-2.402	1.172	1.137	0.063	0.286
5849	-2.333	-2.400	1.140	1.103	0.056	0.310
5850	-2.320	-2.416	1.075	1.070	0.174	0.324
5851	-2.309	-2.452	1.036	1.037	0.293	0.321
5852	-2.385	-2.495	0.995	1.000	0.388	0.309
5853	-2.493	-2.548	0.973	0.961	0.439	0.287
5854	-2.562	-2.605	0.908	0.924	0.457	0.257
5855	-2.676	-2.669	0.875	0.894	0.449	0.218
5856	-2.770	-2.741	0.823	0.874	0.404	0.168
5857	-2.847	-2.806	0.798	0.859	0.338	0.105
5858	-2.962	-2.841	0.780	0.850	0.249	0.033
5859	-2.993	-2.857	0.762	0.846	0.141	0.042
5860	-3.035	-2.865	0.813	0.853	0.017	0.115
5861	-3.122	-2.856	0.846	0.868	0.131	0.178
5862	-3.016	-2.833	0.873	0.895	0.286	0.234
5863	-2.773	-2.797	0.897	0.928	0.405	0.282
5864	-2.665	-2.746	0.936	0.967	0.485	0.320
5865	-2.651	-2.686	0.975	1.010	0.552	0.338
5866	-2.579	-2.611	1.051	1.051	0.605	0.338
5867	-2.514	-2.520	1.117	1.093	0.636	0.317
5868	-2.458	-2.436	1.163	1.131	0.647	0.277
5869	-2.395	-2.372	1.201	1.167	0.637	0.220
5870	-2.334	-2.313	1.235	1.190	0.618	0.146
5871	-2.212	-2.251	1.272	1.207	0.587	0.063
5872	-2.117	-2.197	1.302	1.212	0.535	0.030
5873	-2.093	-2.150	1.295	1.205	0.494	0.128
5874	-2.070	-2.108	1.289	1.186	0.485	0.228
5875	-2.013	-2.068	1.194	1.156	0.492	0.322
5876	-1.977	-2.024	1.154	1.114	0.500	0.403
5877	-1.984	-1.985	1.111	1.063	0.521	0.474
5878	-1.937	-1.942	1.044	1.003	0.554	0.532

Kuva 2. Sivukaltevuuden ja sivukaltevuuden muutosnopeuden analyysi Excel-taulukossa.

Poikkileikkausparametrien laskentaperiaatteet [30]



Kuva 1. Reunasta reunaan -kaltevuus. Kaltevuus vasemmanpuoleisimman reunapisteen keskeltä oikeanpuoleisimman reunapisteen keskelle.



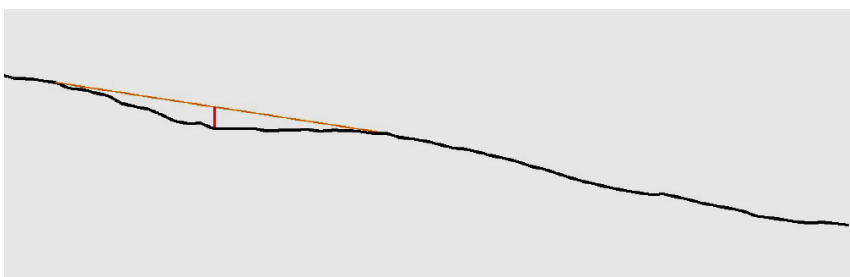
Kuva 2. Sovitettu kaltevuus. Kaltevuusviiva sovitetaan vasemmanpuoleisen ja oikeanpuoleisen kaistan mukaan. Kaikki pisteet suljetaan pois laskennasta, jotka eivät ole annettujen toleranssien sisäpuolella.



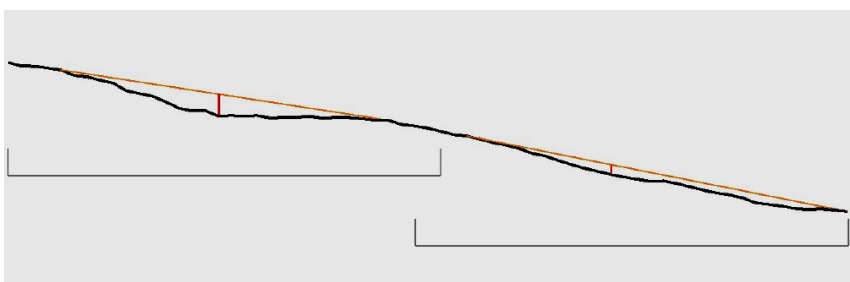
Kuva 3. Karheus. Pisteiden keskiarvoetäisyys viivaan, joka on vedetty vasemmanpuoleisimmasta pisteestä oikeanpuoleisimpaan pisteeseen.



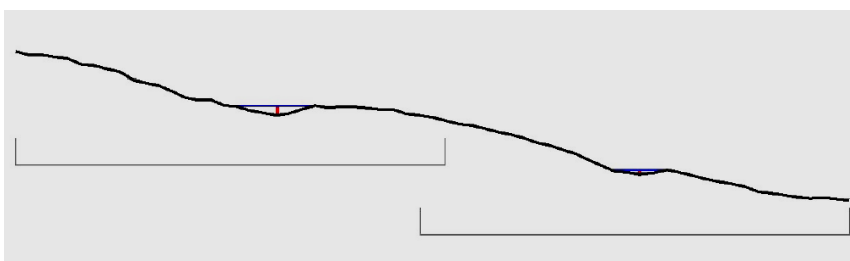
Kuva 4. Maksimivaihtelu. Maksimietäisyys pisteestä viivaan, joka on vedetty vasemmanpuoleisimmasta pisteestä oikeanpuoleisimpaan pisteeseen.



Kuva 5. Maksimi urasyvyys. Suurin korkeusero pisteestä linjaan, joka on yhdistetty kahden muun pisteen välillä.



Kuva 6. Vasen ja oikea urasyvyys. Urasyvyys on suurin korkeusero pisteestä linjoihin, jotka ovat yhdistetty kahden muun pisteen välillä.



Kuva 7. Vasen ja oikea urasyvyys. Vesiura on suurin korkeusero vedenpinnan ja uran pohjan välillä.

Poikkileikkausparametrien tuottama raportti Excelissä

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Station	LeftEast	LeftNorth	LeftZ	RightEast	RightNorth	RightZ	EdgeSlope	CrossRough	MaxDev	LeftRut	RightRut	MaxRut	LeftWater	RightWater
2	18140	436899	6724419	51.43	436896.7	6724419	51.47	1.36	0.0019	-0.006	0.01	0.007	0.01	0.005	0.006
3	18145	436899	6724424	51.25	436896.6	6724424	51.3	2	0.0022	-0.006	0.008	0.007	0.008	0.004	0.002
4	18150	436899	6724429	51.06	436896.6	6724429	51.14	2.74	0.0018	-0.006	0.007	0.005	0.007	0.002	0.003
5	18155	436899	6724434	50.88	436896.6	6724434	50.99	3.6	0.0056	0.013	0.01	0.008	0.016	0.003	0.005
6	18160	436899	6724439	50.73	436896.7	6724439	50.84	3.67	0.0077	0.021	0.008	0.005	0.021	0.003	0.003
7	18165	436899	6724444	50.57	436896.7	6724444	50.7	4.42	0.0048	0.01	0.012	0.006	0.012	0.002	0.003
8	18170	436900	6724449	50.42	436896.9	6724449	50.53	4.13	0.0035	-0.009	0.009	0.01	0.011	0.001	0.003
9	18175	436900	6724454	50.27	436897.1	6724454	50.39	4.14	0.0027	-0.013	0.013	0.004	0.013	0.005	0.002
10	18180	436900	6724459	50.11	436897.3	6724459	50.24	4.64	0.0034	-0.01	0.009	0.007	0.011	0.002	0.004
11	18185	436900	6724464	49.97	436897.7	6724464	50.1	4.44	0.0022	-0.008	0.009	0.006	0.009	0.002	0.003
12	18190	436901	6724469	49.84	436898.1	6724469	49.95	4.14	0.003	-0.007	0.008	0.005	0.008	0.004	0.002
13	18195	436901	6724474	49.7	436898.5	6724474	49.8	3.56	0.0017	-0.004	0.007	0.006	0.007	0.002	0.002
14	18200	436902	6724479	49.58	436899	6724479	49.66	3.09	0.0019	0.005	0.005	0.005	0.005	0.002	0.002
15	18205	436902	6724484	49.44	436899.6	6724484	49.51	2.61	0.0018	-0.005	0.006	0.005	0.006	0.003	0.002
16	18210	436903	6724489	49.31	436900.2	6724489	49.36	1.75	0.0021	0.008	0.008	0.007	0.008	0.003	0.005
17	18215	436904	6724494	49.18	436900.9	6724494	49.21	0.93	0.0036	-0.007	0.006	0.006	0.007	0.003	0.004
18	18220	436904	6724499	49.06	436901.6	6724499	49.09	1.15	0.0033	-0.007	0.008	0.006	0.008	0.004	0.004
19	18225	436905	6724503	48.92	436902.4	6724504	48.97	1.45	0.006	-0.012	0.01	0.004	0.012	0.007	0.002
20	18230	436906	6724508	48.81	436903.2	6724509	48.86	1.49	0.0053	-0.013	0.012	0.007	0.013	0.008	0.004
21	18235	436907	6724513	48.7	436904.1	6724514	48.76	1.76	0.0061	-0.014	0.013	0.004	0.014	0.007	0.001
22	18240	436908	6724518	48.59	436904.9	6724519	48.64	1.32	0.005	-0.015	0.015	0.007	0.016	0.009	0.004
23	18245	436908	6724523	48.49	436905.8	6724524	48.52	0.83	0.0069	-0.017	0.014	0.007	0.017	0.013	0.003
24	18250	436909	6724528	48.39	436906.7	6724529	48.4	-0.17	0.0043	0.01	0.011	0.006	0.011	0.01	0.005
25	18255	436910	6724533	48.29	436907.6	6724534	48.27	-0.73	0.002	-0.006	0.008	0.006	0.008	0.005	0.005
26	18260	436911	6724538	48.19	436908.6	6724538	48.16	-1.22	0.0028	0.008	0.008	0.005	0.008	0.005	0.002
27	18265	436912	6724543	48.08	436909.5	6724543	48.06	-1.16	0.0025	-0.006	0.007	0.004	0.007	0.005	0.001
28	18270	436913	6724548	47.95	436910.4	6724548	47.96	0.29	0.0026	0.007	0.007	0.007	0.007	0.004	0.006
29	18275	436914	6724553	47.84	436911.4	6724553	47.86	0.44	0.0038	0.013	0.008	0.009	0.015	0.007	0.006
30	18280	436915	6724558	47.74	436912.3	6724558	47.77	0.97	0.0039	0.012	0.004	0.005	0.01	0.003	0.002
31	18285	436916	6724562	47.65	436913.3	6724563	47.67	1.1	0.0031	-0.007	0.009	0.009	0.01	0.007	0.005
32	18290	436917	6724567	47.55	436914.2	6724568	47.59	0.95	0.0044	0.009	0.009	0.003	0.012	0.006	0.003
33	18295	436918	6724572	47.48	436915.2	6724573	47.48	0.24	0.0044	0.01	0.007	0.005	0.007	0.007	0.005
34	18300	436919	6724577	47.37	436916.1	6724578	47.41	1.11	0.0033	-0.009	0.01	0.003	0.01	0.006	0.003
35	18305	436920	6724582	47.28	436917.1	6724583	47.33	1.62	0.0033	-0.01	0.01	0.004	0.011	0.003	0.002
36	18310	436921	6724587	47.2	436918.1	6724588	47.25	1.62	0.0033	-0.009	0.008	0.003	0.01	0.002	0.001
37	18315	436922	6724592	47.12	436919.1	6724592	47.17	1.75	0.0034	-0.012	0.01	0.004	0.013	0.005	0.002
38	18320	436923	6724597	47.05	436920.1	6724597	47.11	1.91	0.0023	-0.007	0.008	0.004	0.008	0.003	0.002
39	18325	436924	6724602	46.98	436921.2	6724602	47.04	2.29	0.0017	0.004	0.007	0.004	0.007	0.003	0.001
40	18330	436925	6724607	46.92	436922.2	6724607	46.97	1.74	0.0038	0.01	0.009	0.007	0.011	0.004	0.004
41	18335	436926	6724611	46.85	436923.4	6724612	46.9	1.99	0.0014	-0.003	0.006	0.004	0.006	0.003	0.002
42	18340	436927	6724616	46.79	436924.7	6724617	46.85	2.42	0.0022	0.006	0.005	0.004	0.005	0.002	0.002
43	18345	436929	6724621	46.74	436926	6724622	46.81	2.69	0.0012	0.004	0.005	0.003	0.005	0.004	0
44	18350	436930	6724626	46.71	436927.4	6724627	46.79	2.96	0.0018	0.006	0.006	0.005	0.006	0.001	0.001
45	18355	436931	6724631	46.7	436928.9	6724631	46.79	3.11	0.0013	0.004	0.005	0.006	0.006	0.004	0.001
46	18360	436933	6724635	46.73	436930.5	6724636	46.79	2.25	0.0025	-0.007	0.006	0.009	0.009	0.002	0.002
47	18365	436935	6724640	46.75	436932.1	6724641	46.8	1.83	0.0014	0.006	0.006	0.004	0.006	0.002	0.002

Kuva 1. TerraScanista saatu raportti poikkileikkausparametreista vietynä Excel-taulukkoon. Raportissa olevat arvot ovat samoja kuin karttaesityksessä olevat parametriarvot.