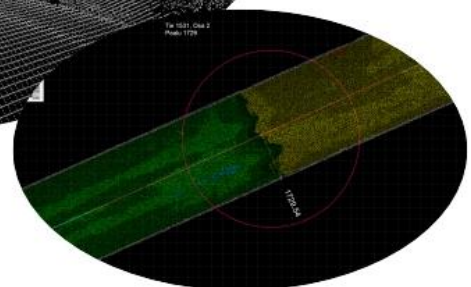
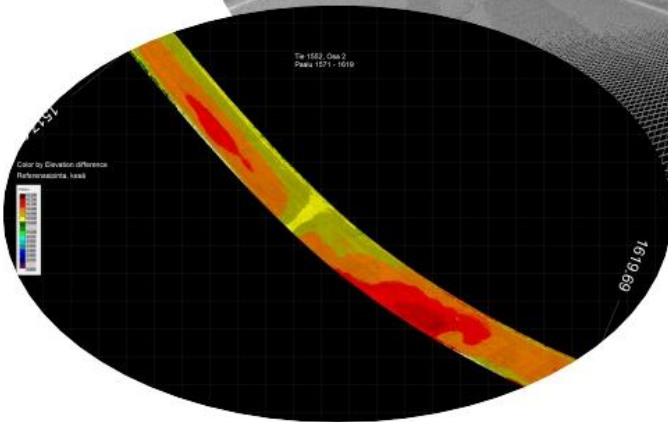
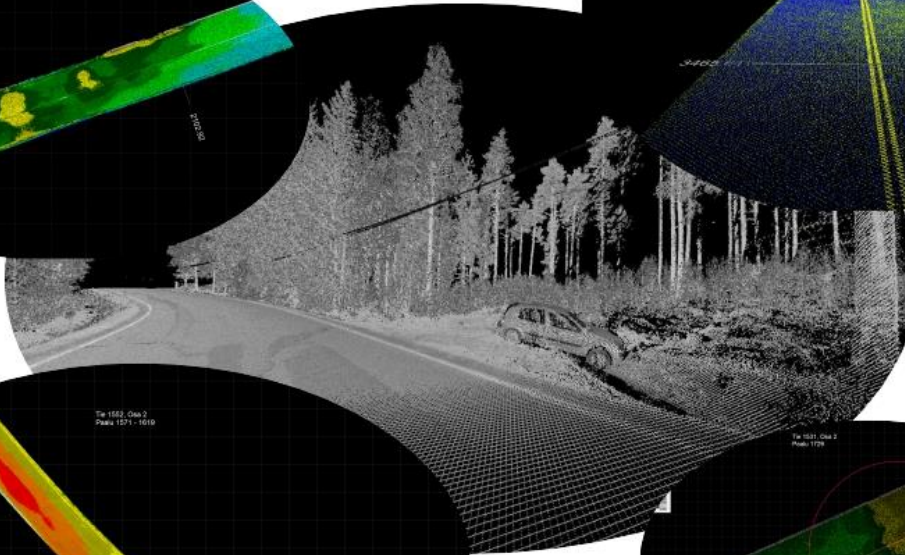
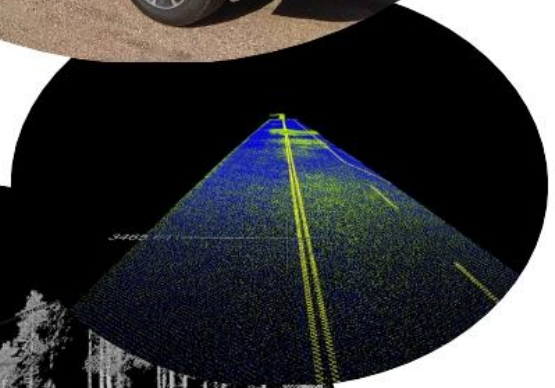
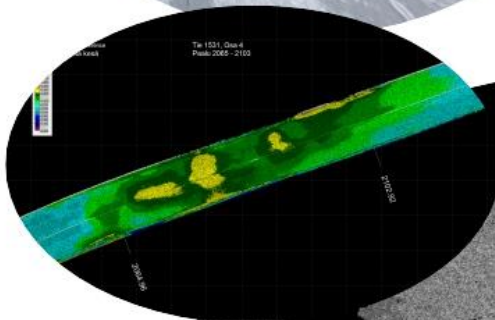


Automaattisen tiedontuotannon kokeilu: Tieverkon mobiililaserkeilaus, laadunvalvonta ja tarkka tiegeometria



Automaattisen tiedontuotannon kokeilu: Tieverkon mobiililaserkeilaus, laadunvalvonta, tarkka tiegeometria

1 Kokeilun tavoite

Kokeilun tavoitteena oli selvittää, voidaanko tarkkaa mobiililaserkeilausta hyödyntää kunnossapidon suunnittelussa sekä väyläomaisuuden hallinnassa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää voidaanko nykyisiä mittausmenetelmiä (mm. PTM -mittaus) korvata jatkossa laserkeilauksella ja millaista lisäarvoa laserkeilauksella saadaan suhteessa nykyisiin menetelmiin.

2 Kokeilun sisältö

Kokeilussa suoritettiin tieverkon laserkeilaus ja digitaalikuvaus liikenteen nopeudella liikkuvasta ajoneuvosta. Tuloksena syntyi erittäin tiheä, älykäs, väritetty pistepilvi. Mittausten avulla voitiin laskea tien geometria, vauriot, urat ja havaita varusteita ja laitteita sekä arvioida niiden kuntoa. Lisäksi tarkasteltiin laserkeilauksen soveltuvuutta uuden päällysteen laadunvarmistamiseen ja selvitettiin roudan aiheuttamia liikkeitä toistomittauksella.

3 Kokeilun kohteet ja toteutusaikataulu

Mittaukset käynnistyivät elokuussa 2017 ja routakeilaus toistomittauksena suoritettiin huhtikuussa 2018.

Työssä mitattiin seuraavat kohteet Porvoon ympäristössä:

| | |
|-------------------------------|---------|
| 55 (Kt 55 Porvoon sisääntulo) | 1,5 km |
| 1531 (Vanha Kuninkaantie) | 16,4 km |
| 1571 (Veckjärventie) | 8,1 km |
| 1552 (Epoontie) | 8,2 km |
| 11859 (Voolahdentie) | 11,7 km |

Kohteet mitattiin kahtena eri ajankohtana. Ensimmäinen mittaus suoritettiin 8.8.2017 ja toistomittaus roudan aikana 13.4.2018.

Valmiin päällysteen laadunvalvontamittausta tehtiin kahdelle vuoden 2017 päällystysohjelman kohteelle:

St148_Nikkilä_1019
Vt4_Hiekkaharju_1011

St148 mitattiin 11.8.2017 ja Vt4 6.10.2017.

4 Tekninen kuvaus

a. maastomittaus

Menetelmässä suoritettiin tieverkon laserkeilaus ja digitaalikuvaus liikenteen nopeudella liikkuvalla ajoneuvolla. Työn suoritus ei vaatinut mitään liikennejärjestelyjä ja voitiin suorittaa milloin tahansa sulan maan aikana. Mittausajoneuvon paikannus ja asennonmääritys tapahtui GPS – ja inertiatekniikan yhdistelmällä.

Paikannuksen tarkkuus oli senttimetriluokkaa.



Laserkeilaus suoritettiin Itävaltalaisen RIEGLin kehittämällä laitteistolla jossa yhteen runkoon on integroitu Inertia-GPS yksikkö ja kaksi ristikkäistä laserkeilainta, jotka yhdessä lähettävät yli 2 miljoonaa mittauspulssia sekunnissa ja monipistetekniikan ansiosta rekisteröivät siitä useita miljoonia pisteitä sekunnissa. Laitteistoon integroidut neljä kameraa kuvaavat kohteen samanaikaisesti keilauksen aikana. Kamerat on suunnattu alas takaviistoon ja sivuille. Kameroiden kuvauskulmaa voidaan haluttaessa säätää tarpeiden mukaan.

Porvoon ympäristön inventointikohteet keilattiin vain yhtenä ajona yhteen suuntaan mahdollisuuksien mukaan keskellä tietä. Päälystyskohteista keilattiin erikseen kummatkin kaistat.

Keilauksen sitominen koordinaatistoon suoritettiin GPS –tukiasemien avulla. Kokeilussa käytettiin Leican pysyvää tukiasemaverkkoa ja vertailun vuoksi myös omaa tukiasemaa paikallisesti. Tarkkuuden todettiin olevan hyvä molemmilla vaihtoehdoilla. Porvoon lähistöllä olevien kohteiden keilaus vei aikaa molemmilla kerroilla noin 3,5 tuntia. Päälystyskohteiden keilaus vei aikaa noin tunnin /kohde.

b. datan käsittelyprosessi

Keilausten sitomiseksi koordinaatistoon suoritettiin ensin trajektorilaskenta Applanixin PosPac –ohjelmistolla. Porvoon alueen inventointihankkeiden laskennassa käytettiin sekä omaa tukiasemaa että Leican pysyvää tukiasemaverkkoa. Päälystyskohteet laskettiin vain omalla tukiasemalla. Mt 148 päälystyskohde ajettiin molempiin suuntiin, jolloin saatiin kontrolloitua tarkkuutta vielä paremmin. Päälystyskohteissa päästiin 10 mm absoluuttiseen sijaintitarkkuuteen. Porvoon alueen inventointikohteissa absoluuttinen sijaintitarkkuus oli noin 25 mm. Suhteellinen tarkkuus on näitä arvoja parempi.

Trajektorilaskennan jälkeen laskettiin mitatut laserpisteet koordinaatistoon. Laskettu laserpisteistö muodostuu ristikkäisistä poikkileikkauksista, joiden linjaväli vaihtelee ajonopeuden mukaan. Ajonopeudella 80 km/h linjaväli on noin 40 mm. Poikkileikkausten suunnassa pisteväli on alle 5 mm. Skannerien mittauseräisyys on yli 200 metriä, mutta laskennassa käytettiin 100 metrin etäisyysrajoitusta. Laskettu aineisto kattaa näin alueen, joka on noin 100 metriä tien keskilinjasta kummallekin puolelle.

Päälysteen analysointia varten pisteaineistosta suodatettiin tienpinnan pintamalli, joka kuvaa mahdollisimman hyvin pinnan vaihteluita. Tästä pintamallista laskettiin tien geometrian parametrit, tasaisuusarvot, uraisuudet ja routanousut.

Pisteaineiston perusteella muodostettiin teiosittain keskilinjat, jotka sidottiin myös tieosan alku- ja loppupisteisiin. Näin aineistosta saatiin tiejaksoille tarkat sijaintitiedot. Keskilinjoihin sovitettiin vaakageometrian ja pystygeometrian elementit, joista selviää teiden geometrian laatu. Laskennan yhteydessä selviävät myös todellisen rakenteen poikkeamat lasketusta geometriasta.



Keskilinjän suhteen laskettiin pintamallista poikkileikkaukset tyypillisesti 10 cm välein. Poikkileikkauksista laskettiin urien syvyydet ja poikittaiskaltevuudet. Ura-arvot ja kaltevuudet voidaan keskiarvoistaa halutuin välein tilastointia varten. Inventointikohteissa käytetään tyypillisesti 100 metrin pituista jaksoa. Päälysteiden laaduntarkastuksessa kaltevuudet lasketaan 20 m jaksoille.

Keskilinjän ja pintamallin avulla laskettiin myös ajourien pituusleikkaukset tasaisuusanalyysejä varten. Pituusleikkaukset luettiin ProVal –ohjelmistoon, jolla laskettiin IRI –arvot. IRI –arvot laskettiin halutun pituisille jaksoille.

Porvoon alueen inventointikohteiden mittaus toistettiin Huhtikuussa 2018. Koska mitatut aineistot ovat tarkasti koordinaatistossa, niiden välillä on mahdollista tehdä muutosanalyysi. Muutosanalyysi suoritettiin vertaamalla tienpinnan pintamalleja keskenään. Ennen analyysiä pintamallit kalibroitiin samaan korkeuteen liikkumattomien rakenteiden avulla. Muutosanalyysissä näkyy selvästi roudan vaikutus, koska toistokeilaus suoritettiin ennen roudan sulamista. Samalla tekniikalla on mahdollista tarkastella myös tienpinnan muitakin muutoksia, esimerkiksi painumia.

5 Johtopäätökset kokeilusta

a. Ajosuoritus

Porvoon alueen inventointihankkeilla koko tienpinnan analysointi onnistui yhdellä ajolla. Liikenne ei juuri häirinnyt mittauksia, jolloin voitiin ajaa suhteellisen keskellä tietä. Vastaantuleva- tai ohittava liikenne aiheuttaa aina pienen katveen viereisen kaistan alueelle. Mikäli tarvitaan täysi katveeton aineisto, on ajo suoritettava molemmille kaistoille erikseen. Mikäli halutaan mallintaa tieluiskat ja ojanpohjat tarkasti joka kohdasta, kannattaa ajo suorittaa molempiin suuntiin mahdollisimman reunassa.

Päälysteiden laadunvalvontamittaukset ovat luonteeltaan sellaisia, että niissä on luontevaa suorittaa ajo kullekin kaistalle erikseen. Kohteet eivät muodosta yleensä verkkoa vaan ovat yksittäisiä tiejaksoja, jolloin edestakaisin ajo ei kuluta ylimääräistä aikaa.

Liikenne ei kokeilussa mukana olleilla hankkeilla ollut ongelma lukuunottamatta Vt4:n päälystyskohdetta. Siellä mittaus suoritettiin aikaisin aamulla hiljaisimman liikenteen aikana.

Säätötilan puolesta mittaus onnistuu muutoin paitsi sateella. Tien pinnan ollessa märkä, ei saada täydellistä aineistoa. Valoisuudella ei ole merkitystä, jos valokuvia ei tarvita. Valokuvien tarve näyttäisi olevan varsin vähäinen. Useimmat asiat selviävät laserdatan ja sen sisältävän intensiteetti-arvon avulla.



b. Aineiston paikannus ja sijaintitarkkuus

Sijaintitarkkuuden kannalta oleellinen on laitteiston inertialaitteisto ja trajektorin laskentaohjelma. Riegl VMX-1HA:ssa on tarkin inertiyksikkö, mitä siviilipuolen laitteistoista löytyy.

Porvoon alueen inventointikohteilla oli mahdollista tarkistaa saavutettu tarkkuus, koska kohteet mitattiin kahteen kertaan. Näyttää siltä, että suhteellinen tarkkuus on kaikilla mitatuilla jaksoilla erittäin hyvä ja absoluuttinen sijaintitarkkuus heikoimmillaankin parempi kuin 10 cm. Muutamat tiejaksot olivat erittäin metsäisiä, mikä aiheuttaa haasteita gps –paikannukselle.

Hyvään sijaintitarkkuuteen päästään sekä omalla tukiasemalla että käyttämällä pysyvää tukiasemaverkkoa. Tukiasemaverkon käyttö on käytännössä ainoa järkevä vaihtoehto, jos mitattavana on suuri määrä kohteita laajalla alueella. Päälystyskohteiden mittauksessa voidaan käyttää omaa tukiasemaa.

Tarkkojen muutosanalyysien (painumat ja routanousut) tekeminen edellyttää, että toistomittaus kalibroidaan alkuperäiseen kiinteiden rakenteiden avulla. Kalibrointipisteitä ei tarvita kovin tiheästi, koska aineistojen suhteellinen sijaintitarkkuus on hyvä.

c. Lopputuotteet

Laserkeilausaineistosta on mahdollista tuottaa hyvin monenlaisia lopputuotteita. Koordinaatistossa olevasta pistepilvestä näkyvät hyvin tien varusteet ja laitteet. Niitä voidaan tarvittaessa mallintaa ja tehdä erilaisia analyyseja. Tien pinnan vauriot erottuvat sekä laseraineiston intensiteetin että pinnan korkeusmallin avulla.

Suhteellisen automaattisesti saadaan määritettyä tien keskilinja ja se voidaan kiinnittää tieosan alku- ja loppupisteisiin. Tämän jälkeen kaikkien kohteiden sijaintia on mahdollista tarkastella Tieräkisterin osoitejärjestelmässä. Vastaavalla tarkkuudella on tien sijaintia vaikea määrittää muilla menetelmillä.

Keskilinjaan voidaan sovittaa automaattisesti tien vaaka- ja pystygeometria. Laskennan jälkeen on tiedossa kaarresäteet ja suorien parametrit sekä todellisen rakenteen poikkeamat lasketusta geometriasta. Tien geometriaa ja rakenteen poikkeamia siitä on vaikea määrittää perinteisillä tekniikoilla. Varsinkin pidempijaksoisten poikkeamien määrittäminen on erityisen vaikeaa. Porvoon alueen inventointikohteista löytyi monenlaisia geometrian ongelmia, mutta myöskin Vt4:n päälystyskohteessa havaittiin merkittäviä pitkäjaksoisia korkeuspoikkeamia. Näyttää siltä, että vuosien kuluessa hyvinkin rakennetun tien geometria alkaa heikkenemään.

Tien pinnasta saadaan täysin automaattisesti suodatettua 3D –pintamalli, josta on mahdollista laskea lukuisia analyyseja. Geometriaan liittyen voidaan laskea poikkikallistukset halutuun väleihin, jolloin löydetään helposti tässä suhteessa



ongelmalliset kohdat. Poikittaiskallistuksia voidaan analysoida sekä ajo geometrian etää kuivatuksen kannalta.

Urien laskenta on täysin automaattinen sen jälkeen kun käytettävissä on keskilinja ja tienpinnan pintamalli. Uralaskenta suoritetaan tyypillisesti 10 cm välein ja keskiarvoistetaan halutuille jaksoille. Tien poikkiprofiilin mittaukseen liittyvässä testihankkeessa todettiin, että keilauksella määritetty uratieto ei ole täysin vertailukelpoinen perinteisen PTM auton 17 –pisteen mittausmenetelmän kanssa, mutta toistotarkkuus on selkeästi parempi.

Tienpinnan tasaisuusanalyysi saadaan suoritettua keskilinjan ja tienpinnan pintamallin avulla. Pintamallista voidaan laskea pituusprofiilit halutuilta etäisyyksiltä keskilinjasta. Nämä pituusprofiilit viedään esimerkiksi ProVal –ohjelmistoon, josta saadaan tulostettu halutut IRI –analyysit. ProValilla voidaan laskea myös muita tasaisuutta kuvaavia parametreja.

Muutosanalyysit onnistuvat laserkeilauksella helposti, kun suoritetaan uusi mittaus. Aineiston suuren sijaintitarkkuuden ansiosta voidaan suoraan laskea eroja esimerkiksi kahden 3D –pintamallin välillä. Mikäli analyysille halutaan erittäin suuri tarkkuus, aineistot on syytä kalibroida kiinteiden rakenteiden avulla.

Laserkeilausmenetelmän suurin etu on, että yhdellä nopeasti suoritettavalla tiedonkeruulla voidaan saada monenlaisia analyyseja ja edetä vaiheittain eri jaksoilla. Ensimmäiseksi voidaan laskea tehdä perinteiset uraisuus- ja tasaisuusanalyysit, joiden perusteella voidaan päättää jatkotoimenpiteet eri jaksoille. Korjausta vaativilla jaksoilla voidaan samaan aineistoon perustuen tehdä korjaussuunnitelmat. Uudelleen päällystyksen yhteydessä voidaan suunnitella myös pieniä geometrian parannuksia, koska on käytettävissä sijaintitarkka tieto. Päällystyksen jälkeen voidaan tarvittaessa uudelleenkeilauksella todeta korjauksen onnistuminen.

Laserkeilaus on todennäköisesti jonkin verran kalliimpi menetelmä verrattuna esimerkiksi perinteiseen PTM –mittaukseen. Menetelmällä saadaan kuitenkin oleellisesti enemmän tietoa. Lisäksi saadaan määritettyä tiejaksojen tarkka sijaintitieto. Tätä perustietoa voidaan sitten hyödyntää sijoitettaessa halvoilla laitteistoilla tehtyjä inventointeja tieverkolle.

6 Toimitusaineisto

Kokeilusta toimitetaan kovalevyllä aineisto, jossa on mitattu laserpisteistö tieosittain ryhmiteltynä ja indeksoituna. Lisäksi mukana on kaikki pisteistöstä lasketut tuotteet ja analyysit tieosittain ryhmiteltynä.

Tällä tavalla on helpointa muodostaa käsitys aineiston käytettävyydestä erilaisiin sovelluksiin.

Kovalevyllä olevat aineistot



- 1) Laserpisteistöt tieosittain ryhmiteltynä. Aineistot ovat suuria, joten ne on jaettu alle 30 miljoonan pisteen blokkeihin. Mukana ovat inkeksikartat, joista selviää blokkien sijainti suhteessa tieosaan.
- 2) Tienpinnan pintamallit tieosittain.
- 3) Keskilinjatiedostot
- 4) Vaaka- ja pystygeometriat
- 5) Poikittaiskallistusten analysoinnit
- 6) Inventointikohteiden tasaisuusanalyysit
- 7) Päälystyskohteiden ura – ja tasaisuusanalyysit
- 8) Muutosanalyysit (routa ja painumat)