

ROADFLY-KOEMITTAUKSET
TALVIOLOSUHTEISSA

Alasca-hanke

Heikkilä Mikael
Heiskanen Jani

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

| | | | |
|--------------------------------|---|-------|------|
| Tekijät | Mikael Heikkilä Jani Heiskanen | Vuosi | 2019 |
| Ohjaaja | Timo Karppinen | | |
| Toimeksiantaja | Lapin ammattikorkeakoulu | | |
| Työn nimi | RoadFly-koemittaukset talviolosuhteissa | | |
| Sivu- ja liitesivumäärä | 35 | | |

Opinnäytetyö oli osa Lapin ammattikorkeakoulun kehittämissympäristön Alasca-hanketta. Hankkeen tavoitteena oli luoda ajoneuvoon kiinnitettävä automaattiseen tiedonkeruuseen perustuva 2D-laserkeilauksen pilottijärjestelmä tieverkon ennakoivaan kunnossapitoon ja kunnossapidon laadunvalvontaan. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia pilottilaitteen käyttäytymistä ja mittaustarkkuutta talviolosuhteissa. Aihe oli hankkeelle tarpeellinen, sillä vastaavanlaisia tutkimuksia on tehty todella vähän. Prototyypille tehtiin samassa yhteydessä lisäksi GNSS-paikannuksen tarkkuustesti.

Työn toteutustavaksi valittiin kenttämittausten suorittaminen pilottilaitteella talvisella maantiellä, minkä jälkeen mittaustuloksia vertailtiin skanneritakymetrillä ja Roadscanners Oy:n mittausajoneuvolla mitattuihin referenssiaineistoihin. Mittausdata analysoitiin Road Doctor- ja 3D-Win-ohjelmistoilla, josta syntyneet tulokset ja johtopäätökset on esitetty tässä opinnäytetyössä.

Tulokset osoittivat, että pilottilaitteen mittaamat arvot olivat hyvin lähelle samansuuruisia kuin vertailumittausten tuottamat arvot. Laitteiden välillä oli pieniä mittaustarkkuuksista johtuvia eroja, mutta ne eivät olleet merkittäviä. Prototyypin GNSS-paikannusvirheen havaittiin vaikuttavan yksittäisen mittauksen sijaintiin suurimmillaan noin 10 metriä, joten tarkkuus riittää hyvin vastaamaan laitteen käyttötarkoitusta.

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että jäiset ja lumiset tienpinnat tai lumipöly eivät haittaa laitteen toimintaa sellaisissa olosuhteissa, joissa talvimittaukset suoritettiin. Koemittauksissa tien pinta oli kuivaa jäätä ja lunta eivätkä nämä pinnat tuottaneet laitteelle ongelmia. Toisaalta olosuhteet eivät testipäivinä olleet laserskannauksen osalta haastavimmat mahdolliset. Tämän työn tulosten perusteella ei voida päätellä esimerkiksi sitä, kuinka luotettavia tuloksia pilottilaitte antaisi sellaisella tienpinnalla, jossa jään päällä on vettä.

Technology, Communication and Transport
Degree Programme in Land Surveying
Bachelor of Engineering

| | | | |
|--------------------------|--|------|------|
| Authors | Mikael Heikkilä Jani Heiskanen | Year | 2019 |
| Supervisor | Timo Karppinen | | |
| Commissioned by | Lapland University of Applied Sciences | | |
| Subject of thesis | Testing the RoadFly Prototype Unit in Winter Conditions | | |
| Number of pages | 35 | | |

This thesis was a part of the Alasca project of the development environment in the University of Applied Sciences of Lapland. The goal of the project was to create a pilot system based on automation of road monitoring by utilising a 2D laser scanning technique for the proactive road maintenance and road quality control of the road maintenance. The aim of the thesis itself was to investigate the operation and accuracy of the measurements of the prototype in real winter road conditions. Furthermore, a precision test for GNSS positioning accuracy was made on the same prototype.

The field measurements were performed on a pilot device on a winter road. After that the data was compared with the prototype to the reference data produced with the scanning total station and a measuring vehicle of Roadscanners Oy. The measurement data was processed using the Road Doctor and 3D Win software.

The results showed that the values measured with the pilot device were very similar to the values measured with the reference devices. It can be concluded that icy and snowy road surfaces will not interfere with the operation of the device in conditions where the winter measurements were performed. The GNSS positioning accuracy is sufficient to suit the purpose of the device.

Key words

RoadFly, mobile mapping, laser scanning, Road Doctor

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 TYÖN TEORIA | 8 |
| 2.1 Laserkeilaus..... | 8 |
| 2.2 Teiden kunnossapitovaatimukset..... | 9 |
| 3 TALVIMITTAUSTEN KUVAUS | 12 |
| 3.1 Mittausten tarkoitus ja tavoitteet | 12 |
| 3.2 Mittauksissa käytetyt laitteet | 12 |
| 3.2.1 RoadFly..... | 12 |
| 3.2.2 Road Doctor Survey Van..... | 14 |
| 3.2.3 Trimble SX10 | 16 |
| 4 MITTAUSTEN TOTEUTUS | 18 |
| 5 MITTAUSTULOKSET | 23 |
| 6 JOHTOPÄÄTÖKSET | 32 |
| LÄHTEET..... | 34 |

ALKUSANAT

Haluamme kiittää kaikkia henkilöitä, jotka olivat avuksi opinnäytetyön tekemisessä. Kiitokset opinnäytetyön ohjaaville opettajille Timo Karppiselle sekä englannin kielisen osuuden osalta Ritva Ala-Loukolle. Erityiskiitokset Arctic Power -ryhmän Tuomas Sinisalolle sekä Roadscanners Oy:n Timo Saarenpäälle mittauksiin osallistumisista ja avusta aineistojen käsittelyssä.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

| | |
|--------------|---|
| AIKO | Alueelliset innovaatiot ja kokeilut |
| IMU | Inertial Measurement Unit (Kaartinen, Hyyppä, Kukko Jaakkola & Hyyppä 2012, 12815) |
| TEM | Työ- ja elinkeinoministeriö |
| RDMC | Road Doctor Maintenance Controller |
| RDMC-ohjelma | Roadscannersin RDMC:a varten kehittämä ohjelma, jota myös RoadFly käyttää |
| RDSV | Road Doctor Survey Van |

1 JOHDANTO

Laserkeilaimia käytetään nykyään monissa käyttökohteissa ja myös teiden mallintamiseen. Tällä hetkellä käytettävät mobiilikeilaimet ovat kalliita ja monimutkaisia sekä vaativat käyttäjältään osaamista ja monipuolisia ohjelmistoja. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, onko mahdollista asentaa edullisempia, mutta riittävän tarkkuuden tarjoavia 2D-keilaimia esimerkiksi tiettyä väliä kulkeviin raskaisiin ajoneuvoihin ja saada reaaliaikaista dataa tien pinnan kunnosta ja laadusta. Näin tien vaatimia hoitotoimenpiteitä pystyttäisiin arvioimaan ja ennakoimaan. Tavoitteena on myös tutkia, kuinka laserskannauksella voidaan määrittää mahdollisia keväisiä ongelmapaikkoja, joissa vesi saattaa kertyä tierakenteseen.

Työmme on osa Lapin AMK:n Arctic Power kehittämisympäristön Alasca-hanketta (Automated Road Monitoring Pilot Using 2D Laser Scanning). Hanke toteutetaan osittain Työ- ja elinkeinoministeriön Lapin liitolle myöntämällä Alueelliset innovaatiot ja kokeilut (AIKO)-rahoituksella. Alasca-hankkeen tarkoituksena on kehittää 2D-laserskannaukseen perustuva monitorointijärjestelmä, joka havaitsee teiden polanteet, urat, teiden reunoilla olevat lumivallit, ojien syvyydet, sohjoajat ja poikkeamat myös tiestön kesähoidossa reaaliaikaisesti ja automaattisesti ilman kalliita erillismittauksia. Hankkeen tavoitteena on suunnitella automaattiseen tiedonkeruuseen perustuva 2D-laserkeilausjärjestelmä, joka on helposti asennettavissa ajoneuvoihin. Tien kunnan määrittäminen perustuu nykyisellään pääasiassa silmämääräiseen arviointiin tai tien pinnan manuaaliseen mittaamiseen. Toimiva ja edullinen laserkeilain on omiaan tuottamaan tietoa nopeasti ja turvallisesti.

Opinnäytetyössä suoritamme mittauksia, joiden perusteella arvioimme tien pinnan mittaamiseen kehitetyn RoadFly-laitteen prototyypin mittaustarkkuutta ja soveltuvuutta tien kunnan määrittämiseen talviolosuhteissa. Talvitestimittausten lisäksi samassa yhteydessä toteutetaan RoadFlyn GNSS-paikannuksen tarkkuustesti. Alun perin tarkoituksena oli myös tutkia, miten märkä tienpinta vaikuttaa mittaustuloksiin, mutta hankkeen aikataulusta tämä osio jäi pois.

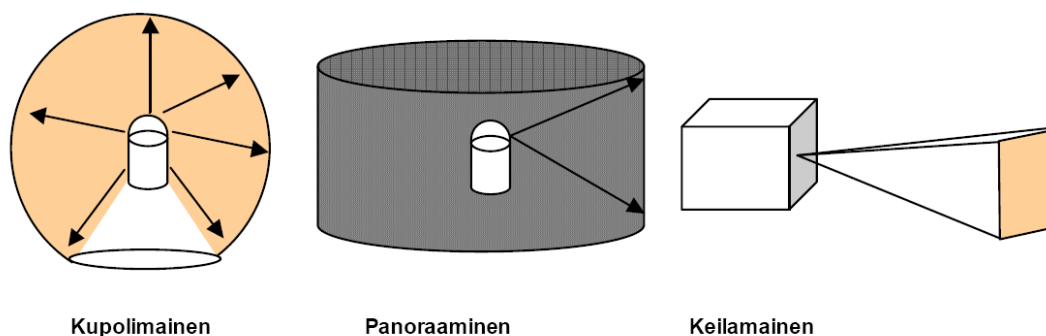
2 TYÖN TEORIA

2.1 Laserkeilaus

Laserkeilauksella tarkoitetaan mittaustapaa, jossa kohde mitataan määrittämällä mittalaitteen lähettämän lasersäteen kulkema matka. Laserkeilain lähettää lasersäteen, joka heijastuu kohteesta takaisin mittalaitteeseen, jolloin laite määrittää säteen kulkuaikaan perustuen säteen kulkeman matkan. Kun lasersäteen lähtökulmat ja kojeen sijainti ovat tiedossa, laite pystyy määrittämään mitatulle pisteelle koordinaatit. Laserkeilauksen etuina ovat mittaustyön nopeus sekä prismaton mittaus kohdetta koskematta. Laserkeilaimen mittaussnopeus voi ylittää jopa 500 000 pisteeseen sekunnissa. Laserkeilaus soveltuu hyvin vaikeasti lähestyttävien tai mahdollisesti vaarallisten kohteiden mallintamiseen, tällaisia ovat esimerkiksi kaivokset, joissa voi mahdollisesti olla sortumavaara. Laserkeilaimia käytetään monipuolisesti alkaen lentokoneista tai helikoptereista suoritettavaan kaukokartoitukseen, jolloin mittausetäisyys voi olla jopa 100 km ja tarkkuus 10 cm luokkaa, päättyen lyhyiltä etäisyyksiltä suoritettaviin pienten kohteiden mittamiseen, jossa tarkkuus voi olla alle millimetrin. Usein laserkeilaus suoritetaan useammasta asemapistestä, jotta vältetään katvealueilta. Nämä eri mittaukset voidaan yhdistää käyttäen mittausten kesken yhteisiä tähyksiä, yhteisiä kohteita tai yhteisiä alueita pistepilvissä. (Joala 2006, 1–6.)

Laserkeilaimet jaetaan etäisyysmittausmenetelmän mukaan kahteen ryhmään: valon kulkuaikaan perustuviin ja vaihe-erokeilaimiin. Ensin mainitut lähettävät laserpulssin tunnettuun suuntaan ja laite laskee pulssin edestakaiseen matkaan kuluneen ajan perusteella kohteen ja laitteen välisen etäisyyden. Vaihe-eroon perustuvat keilaimet puolestaan lähettävät jatkuvaa lasersädettä, joka sisältää useampia kantoaallonpituuksia. Laite laskee etäisyyden kohteeseen lähetetyn ja vastaanotetun signaalin vaihe-eron avulla. Valon kulkuaikaan perustuvat laitteet ovat hitaampia, mutta niillä puolestaan pystytään mittamaan tarkasti myös pidempien matkojen päähän. Keilaimet voidaan jaotella myös niiden käyttämän mittaustavan mukaan kupolimaisesti, panoraamisesti tai keilamaisesti mittaaviin. Mittaustapojen erot tulevat selkeästi esille oheisesta kuvasta (Kuvio 1). Kullakin

mittaustavalla on omat pistetiheyteen ja katvealuisiin liittyvät rajoitteensa kupolimaisen ollessa nykyään yleisin. (Joala 2006, 1–6; Kukko 2005, 6–8.)



Kuvio 1. Keilainten mittaustavat (Joala 2006, 2)

Mobiilikartoituksella tai mobiilikeilauksella tarkoitetaan liikkuvasta kohteesta suoritettavaa mittaustapaa, mittausalustana voi olla esimerkiksi auto. Ajoneuvosta suoritettavassa mobiilikeilauksessa yleensä yhdistetään samalle alustalle useita eri mittalaitteita, kuten GNSS-satelliittipaikannin, laserkeilain sekä inertiamittauslaite IMU. Inertiamittauslaite määrittää ajoneuvon (ja siten myös mittalaitteiden) asennon sen liikkuessa. Yhdistettynä inertiamittauslaitteen tiedot paikannukseen käytettävän GNSS-laitteen tuottaman datan kanssa saadaan tuotettua melko tarkkaa sijaintitietoa, jota käyttäen keilaimen ja tuottama data saadaan sidottua koordinaatistoon. Lisäksi mobiilikeilaukseen yhdistetään usein myös valokuvauskalustoa, jolloin saadaan tuotettua ympäristöstä monipuolisempaa kuvaa. (Kaarinen ym. 2012, 12815.)

2.2 Teiden kunnossapitovaatimukset

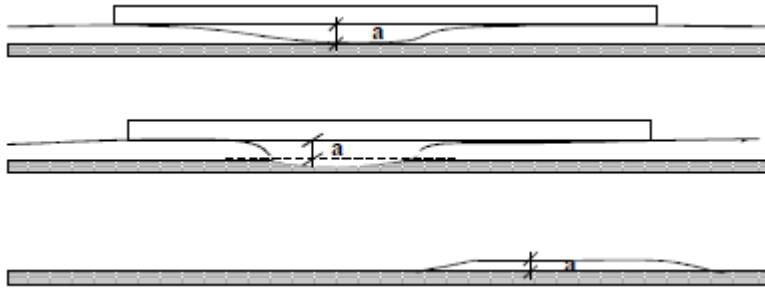
Yleiset tiet on jaettu viiteen talvihoitoluokkaan liikennemäärien ja tien merkityksellisuuden perusteella. Tien luokitus määrittää tien kunnossapidon laatuvaatimukset, mm. tielle sallitun lumimäärän, polanteisuuden ja pitkittäisen epätasaisuuden sekä sen, kuinka nopeasti tien hoitotoimenpiteet on käynnistettävä vaatimusten täytyessä. (ELY-keskus 2018.) Tiet jakautuvat luokkiin siten, että suurin osa liikenteestä tapahtuu hoitoluokkiin Ise, Is, I ja Ib kuuluvilla teillä, joiden maksimilumensyvytydet ovat samat, kuten alla olevasta taulukosta (Taulukko 1) on nähtävissä. Kilometreissä mitattuna suurin osa tiestöstä kuuluu kuitenkin luokkiin II ja III. (Liikennevirasto 2018a).

Taulukko 1. Teiden hoitoluokat (Liikennevirasto 2018a)

| Hoito- luokka | pi- tuus km | % lii- ken- teestä | Irtolu- men sallittu määrä (cm) | Sohjolu- men sal- littu määrä (cm) | Suurin sallittu epäta- saisuus (cm) | Toimenpi- deaika (irto- lumi/sohjo) | Tien pinnanlaatu talvella |
|------------------|-------------------|--------------------------|---|--|---|--|--|
| Ise | 1326 | 28 | 4 | 2 | - | | Pääosin paljas |
| Is | 6936 | 37 | 4 | 2 | - | 2,5/2 | Pääosin paljas |
| I | 1260 | 4 | 4 | 2 | 1 | 3/2,5 | Suurimman osan ajasta paljas |
| Ib + Tib | 15 003 | 20 | 4 | 2 | 1,5 (Tib 2) | 3/3 | Osittain paljas, po- lannekaistoja tai kokonaan polan- teinen |
| II | 15 085 | 7 | 8 | 4 | 2 | 4/4 | Pääosin polanne- pintainen, mah- dollisesti urautu- nut |
| III | 38 356 | 4 | 10 | 5 | 2 | 6/6 | Polannepintainen, paikoin urautunut |

Teiden laatuvaatimukset ovat voimassa koko tien leveydeltä reunaviivasta reu-
naviivaan tai koko aurattavalla tien leveydellä pois lukien 20 cm kaistaleet tien
reunassa. Pientareen laatuvaatimukset koskevat puolestaan tien reunassa ole-
vaa aluetta reunaviivasta uloimpaan aurauslinjaan, joka sijaitsee noin 25 cm etäi-
syydellä aurausviitoista. Tiellä olevan lumen ja sohjon määrä määritetään 50 cm
leveänä kaistaleena, jolla on suurin määrä lunta koko tien poikkileikkauksesta.
Mikäli lumisin kohta on alle 50 cm leveä, lumen määrä arvioidaan tasattuna 50
cm leveydelle. Sohjolla tarkoitetaan tiellä olevaa kosteaa lunta, joka ei tartu tien-
pintaan kiinni ja aiheuttaa liirtovaaran. Polanteella tarkoitetaan tiessä olevaa pak-
kautunutta jää- tai lumikaistaletta, joka arvioidaan tiestä silmämääräisesti, arvioi-
malla ajotuntumaa tai mittaamalla metrin oikolaudalla kuvion 2. mukaisesti. Kuvi-
ossa on esitetty myös, kuinka osittain paljaan tien polanteisuutta mitataan. Osit-
tain paljaan tien osalta polanteen korkeus ei myöskään saa ylittää maksimiarvoja.
Polanteisuutta määritettäessä ei oteta huomioon tien päällysteuraa eikä mahdol-
lista reunapainumaa. Muut polanteessa olevat epätasaisuudet kuin polanteen sy-
vyys, kuten jäätöyssyt ja kuoppaisuus, arvioidaan silmämääräisesti tai ajotuntu-
man perusteella. Ajoradassa olevien epätasaisuuksin maksimisyvytydet on esi-
tetty kuviossa 3. Tien laitain kertyvien lumivallien maksimikorkeus on 80 cm,

poikkeuksena 5 metriä lähempänä suojatietä vallin maksimikorkeus on 50 cm.
(Liikennevirasto 2015, 8-12,26; Liikennevirasto 2018a.)



Kuvio 2. Tien polanteisuuden määrittäminen oikolaudalla (Liikennevirasto 2015)

3 TALVIMITTAUSTEN KUVAUS

3.1 Mittausten tarkoitus ja tavoitteet

Talvimittausten tarkoituksena oli tutkia Alasca-hankkeen RoadFly-prototyypin toimintaa talviolosuhteissa. Mittauksissa pyrittiin löytämään rajoja laitteen toiminnasta luonnollisissa talviolosuhteissa sellaisissa ympäristöissä, mihin laite on tarkoitettu käytettäväksi. Prototyypillä oli tehty aikaisemmin mittauksia kesällä ja syksyllä, mutta laitteen toimintaa talvioluissa ei ollut aikaisemmin testattu.

Talvimittauksissa selvitettiin, vaikuttavatko erilaiset jää- ja lumipinnat mittalaitteen tuottamiin mitaustuloksiin. Lisäksi tutkittiin, vaikuttaako edessä ajavasta autosta lähtevä lumipöly laitteen toimintaan. Pölyävässä lumessa mitattaessa osa lasersäteistä heijastuu lumipölystä takaisin skanneriin, mikä voi vaikuttaa mitaustuloksiin (Lammi 2013, 37-39).

Mittaukset toteutettiin kahtena eri ajankohtana, jotta testeihin saatiin vaihtelevuutta sääolosuhteissa ja tienpinnalla olevan lumen ja jään koostumuksissa. Tarkoituksena oli vertailla RoadFly-prototyypin tuottamaa dataa tien uraisuudesta Roadscanners Oy:n mittaamaan referenssiaineistoon ja löytää niistä yhteneväisyyksiä ja eroja. Referenssimittauksissa käytettiin Roadscanners Oy:n mittausajoneuvon lisäksi Trimble SX10-skanneritakymetriä.

Toiminnallisten testin lisäksi samassa yhteydessä toteutettiin RoadFlyn GNSS-paikannuksen tarkkuustesti. GNSS-paikanninta testattiin stationäärisesti ja liikkeessä, joista jälkimmäisessä paikannusta verrattiin referenssi-paikannukseen.

3.2 Mittauksissa käytetyt laitteet

3.2.1 RoadFly

RoadFly on Alasca-pilotin tuotoksena syntynyt prototyypituote (Kuvio 3), jonka tarkoituksena on automatisoida tiekunnossapidon edellyttämät mittaukset. Tämä prototyyppi sijoitetaan ajoneuvon keulaan, josta sillä on suora näkymä sen edessä olevaan tien pintaan.



Kuvio 3. RoadFly-prototyyppi

RoadFlyn toiminta pohjautuu LiDAR-anturilla toteutettavaan 2D-laserskannaukseen, jonka avulla muodostetaan pistepilvi. Tätä pistepilveä käsitellään reaaliajassa Roadscanners Oy:n luomassa RDMC-ohjelmistossa, joka tuottaa geoindeksoituja uraisuus- ja reunavalliarvoja tiestöstä.

Prototyyppi koostuu kolmesta pääasiallisesta komponentista; Sickin LMS-151 LiDAR-sensorista, teollisuus-PC:stä ja virranhallintapiiristä. Siinä on myös GNSS-paikannus ja mobiiliverkkoyhteys. Alla olevassa kuvassa (Kuvio 4) on esitetty laitteen kotelon sisältö. LiDAR-sensori hoitaa kaiken tien pintaan liittyvän anturoinnin, lähettämällä laserpulsseja 905nm aallonpituudella ja mitaten heijastuneiden säteiden viiveen perusteella pisteiden etäisyyden skannerista. Skanneri mittaa tien poikkiprofiilin koko tiealueelta. (Sick 2018.)

Teollisuus-PC käsittelee sensorilta saapuvan mittausaineiston ja siihen asennettu RoadScanners Oy:n RDMC-ohjelma laskee aineiston pohjalta aiemmin mainitut mittausarvot ja lähettää ne mobiiliverkon yli pilveen. Ohjelma tuottaa raakadatasta tien poikkiprofiilin tunnuslukuja eli tiedot tien urasyvyyksistä ja reunavallin korkeuksista. Lisäksi RDMC-ohjelma on mahdollista ohjelmoida tuotta-

maan poikkiprofiilista muitakin tietoja, kuten ojien syvyydet ja luiskien kaltevuudet. Tämän opinnäytetyön testimittauksissa laite on ohjelmoitu tuottamaan tiedot urasyvyyksistä ja reunavallien korkeuksista ja tulosten analysoinneissa keskitytään näihin ominaisuuksiin. (Liikennevirasto 2018b, 16.)

Järjestelmän virranhallintapiiri huolehtii siitä, että muut komponentit käynnistyvät sammuvat automaattisesti ajoneuvon käynnistyessä ja sammuessa. Näin ajoneuvon akku ei pääse kulumaan tyhjäksi.



Kuvio 4. RoadFly kuvattuna kotelon sisältä, jossa näkyy LiDAR-sensori ja teollisuus-PC ja asennusvarsi ajoneuvoon kiinnittämistä varten.

3.2.2 Road Doctor Survey Van

Referenssiaineiston mittaamiseen käytettiin Roadscanners Oy:n Road Doctor Survey Van–mittausajoneuvoa (RDSV), joka on esitetty kuviossa 5. Se on tarkoitettu kattaviin tieverkon mittauksiin ja sen toimintaperiaatteisiin kuuluu mittausaineiston jälkiprosessointi saman valmistajan Road Doctor-ohjelmistolla. RDSV kerää tiestä dataa laserskannerin avulla. Järjestelmä sisältää tarkan VRS-GNSS-laitteen, joka hyödyntää reaaliaikaista korjaussignaalia. Sijaintitiedossa päästään näin ollen senttiluokan tarkkuuteen xy-suunnassa. Mittausajoneuvo sisältää

myös kuituoptisen inertialaitteen, joka on tarkoitettu erityisesti laserkeilaimen asennon mittaamiseen. Inertialaite parantaa paikannustarkkuutta etenkin silloin, kun satelliittien näkyvyys on heikko. Roadscanners Oy kokoaa ja myy mittausautoa tie- ja katumittauksia tekeville yrityksille maailmanlaajuisesti. (Roadscanners Oy 2018a, 5-6.)



Kuvio 5. Road Doctor Survey Van (Roadscanners Oy 2017)

RDSV osallistui Liikenneviraston järjestämään vertailuun, jossa testattiin eri kokoonpanojen uraisuuslaskennan tarkkuutta, toistettavuutta ja nopeusriippuvuutta. Tosimittatesteissä RDSV:n maksimiuraisuuslaskennan ero referenssiin oli noin kaksi millimetriä suurempi ja toistettavuuden variaatiokerroin 1,8 %, kun referenssilaitteiston keskiarvo oli noin 1,9 %. Ajonopeuden vaikutus mittaustulosten keskiarvoon ja variaatioon oli mitätön. Tämän vertailun perusteella RDSV:tä voidaan pitää hyvänä referenssinä talvimittauksille, vaikka se ei tosin anna täydellistä kuvaa RDSV:n suorituskyvystä talviolosuhteissa. (Virtala, Alanaatu & Huuskonen-Snicker 2018, 16.)

RDSV ja RoadFly hyödyntävät molemmat 2D-laserskannaustekniikkaa mittaustiedon tuottamisessa. Laitteiden keskeiset erot ovat siinä, että RoadFly on kehitetty ainoastaan teiden automaattisen kuntoseurannan tarpeisiin, eikä se sisällä senttitarkkaa paikkatietoa tai inertiajärjestelmää toisin kuin RDSV. RoadFlyn laserkeilaimen valinnassa (LMS-151) on painotettu kompaktia kokoa hieman tarkkuuden kustannuksella. RoadFly on näin ollen pystytty rakentamaan edullisesti ja sen hintaluokka on tuhansia euroja. RDSV:n senttitarkka paikannusjärjestelmä sekä inertiajärjestelmä mahdollistavat tarkan pistepilviaineiston keruun ja laajentavat RDSV:n käyttömahdollisuuksia esimerkiksi suunnittelun tarpeisiin, mutta samalla järjestelmän hintaluokka nousee kymmeniin tuhansiin euroihin.

3.2.3 Trimble SX10

Referenssimittauksissa käytettiin Trimble SX10-skanneritakymetriä, joka on tällä hetkellä tehokkain takymetrin ja 3D-laserkeilaimen yhdistelmä (Kuvio 6.). SX10 tuottaa erittäin tarkkaa pistepilviaineistoa nopeasti ja tarkasti. Se mittaa 26 600 pistettä sekunnissa ja sen maksimi mittausetäisyys on 600 metriä. Pistepilven tiheys on korkealaatuinen koko kantaman alueelta. Laserpisteen koko on 14 mm 100:ssa metrissä. (Geotrim 2018.)

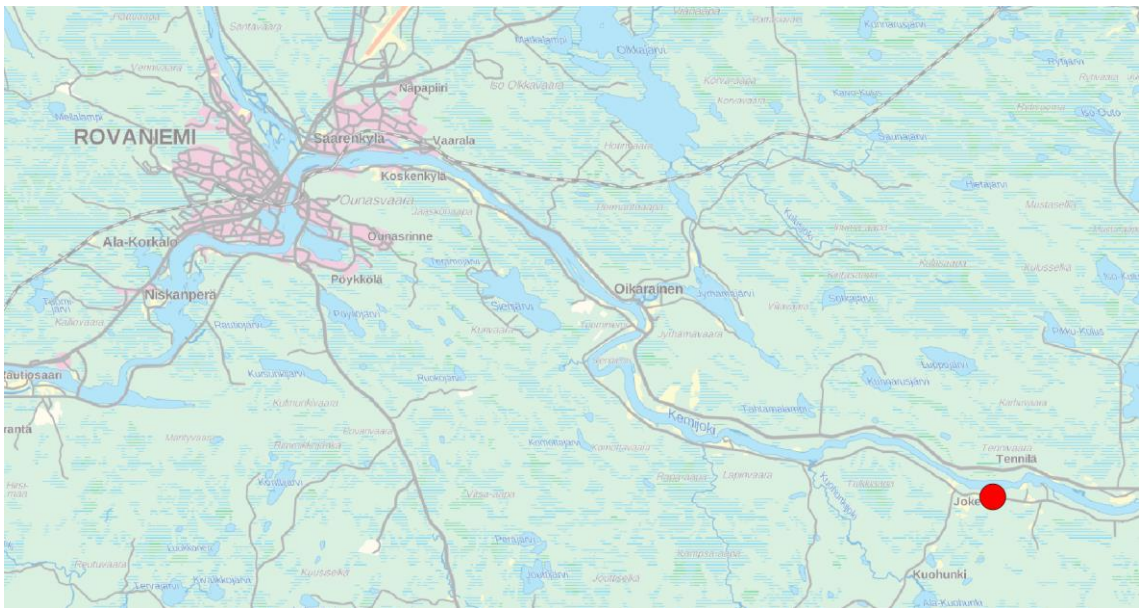
SX 10 soveltui hyvin käytettäväksi talvitestien referenssiaineiston mittaamiseen, koska sillä sai tuotettua tarkkaa pistepilviaineistoa tehokkaasti. Testiosuudelle oli lisäksi rakennettu mittapistejono ETRS-GK26-koordinaattijärjestelmään, jolloin SX10:lla mitatut pistepilvet saatiin vaivattomasti oikeaan koordinaatistoon ja olivat siten helposti verrattavissa RoadFlyn tuottamaan dataan. Pistejonon avulla voitiin orientoida skanneritakymetri ennen skannauksen suorittamista, jolloin pistepilvi tuli jo mittausvaiheessa haluttuun koordinaatistoon. Pistepilveä ei tarvinnut näin ollen käsitellä koordinaattimuunnosten osalta. Lisäksi maastossa ei tarvinnut käyttää laserkeilaukselle yleensä tyyppillisiä tähyksiä.



Kuvio 6. Trimble SX10 skanneritakymetri 15.3.2018 testipäivän mittauksissa

4 MITTAUSTEN TOTEUTUS

Talvimittausten toteutuspaikaksi valittiin Jokelassa sijaitseva kahden kilometrin pituinen tieosuus, jossa laitteella on tehty aiemmin syysajan mittaukset. Testialue sijaitsee noin 30 kilometriä itään Rovaniemen keskustasta. Alueen sijainti kartalla on esitetty kuviossa 7. Se oli valittu aiemmissa mittauksissa testipaikaksi siksi, että tiessä oli tarpeeksi pitkä suora ja tien liikennemäärä oli rauhallinen. Nämä seikat olivat edellytyksiä testien turvallisuuden takaamiseksi, sillä kenttätesteissä käytettiin ajoittain suuria nopeuksia.



Kuvio 7. Testialueen sijainti näkyy kartassa punaisena ympyränä (Alasca-loppu-raportti)

Talvimittaukset suoritettiin kahtena eri päivänä ja referenssimittaukset suoritettiin aina varsinaisten testimittauksien yhteydessä. Testeissä käytettiin Lapin Ammatitopiston kuorma-autoa, johon RoadFly-prototyyppi asennettiin mittausten ajaksi. Kuorma-autoon kiinnitettiin lisäksi 8mm tarkkuuteen kykenevä RTK-tekniikkaa hyödyntävä Trimble R8 GNSS-vastaanotin, jotta mittausdataan saatiin mukaan tarkka paikkatieto (Trimble 2015). Tätä tarkkaa paikkatietoa hyödynnetään samalla RoadFlyn sisäisen GNSS-paikannuksen tarkkuuden vertailuun.

RoadFly käsittelee lähtökohtaisesti 2D-scannerin raakadatan laitteen sisällä ja lähettää reaaliajassa tietoa eteenpäin tien molempien ajourien syvyyksistä, maksimiurasyvyydestä ja reunavallin korkeudesta ennalta laitteeseen tallennettujen asetusten perusteella. Kuviossa 8 on esimerkki prototyypin mittaamista ja reaaliaikaisesti eteenpäin lähettämistä tien uraisuusarvoista ensimmäiseltä testipäivältä. Laitteen sisällä oleva prosessori on ohjelmoitu siten, että se laskee keskiarvot niistä arvoista, jotka laite mittaa sekunnin aikajaksona ja lähettää keskiarvoistetut tiedot eteenpäin. Tämä data voidaan ohjelmoida karttasovellukseen, joka piirtää reaaliajassa tien uraisuusarvot karttapohjalle esimerkiksi värikoodeilla, jolloin mittaustulokset olisivat helposti ja nopeasti luettavissa.

| xloc | yloc | meas_time | left_rutt_mm | right_rutt_mm | max_rutt_mm | ridge_mm | rutt_sepa_m | Prev_xloc | Prev_yloc | Meas_Speed_mps |
|---------------|----------------|----------------------|--------------|---------------|-------------|-----------|-------------|---------------|----------------|----------------|
| 474420.360684 | 7363155.193688 | 2018-03-15 11:36:54. | 9.520310 | 6.971910 | 9.520310 | 12.391530 | 1.500000 | 474406.941316 | 7363157.022090 | 13.475977 |
| 474434.578043 | 7363153.047781 | 2018-03-15 11:36:55. | 29.619295 | 11.924132 | 30.794127 | 25.809055 | 1.500000 | 474420.360684 | 7363155.193688 | 14.250142 |
| 474448.617463 | 7363150.831116 | 2018-03-15 11:36:56. | 6.789118 | 12.243173 | 14.548357 | 6.940891 | 0.900000 | 474434.578043 | 7363153.047781 | 14.100533 |
| 474462.298859 | 7363148.565772 | 2018-03-15 11:36:57. | 5.973963 | 9.281358 | 13.198643 | 2.723985 | 1.000000 | 474448.617463 | 7363150.831116 | 13.757612 |
| 474476.223093 | 7363146.294561 | 2018-03-15 11:36:58. | 12.556935 | 20.223873 | 20.252142 | 23.035597 | 2.000000 | 474462.298859 | 7363148.565772 | 14.136522 |
| 474490.189853 | 7363143.456373 | 2018-03-15 11:36:59. | 5.591466 | 9.790762 | 12.654995 | 2.327260 | 1.200000 | 474476.223093 | 7363146.294561 | 14.252218 |
| 474504.152973 | 7363141.196094 | 2018-03-15 11:37:00. | 6.029441 | 25.770086 | 26.413595 | 12.183964 | 1.400000 | 474490.189853 | 7363143.456373 | 14.004829 |
| 474517.734548 | 7363138.350410 | 2018-03-15 11:37:01. | 13.263311 | 24.843109 | 27.185247 | 20.533148 | 0.800000 | 474504.152973 | 7363141.196094 | 14.087812 |
| 474531.374070 | 7363134.993342 | 2018-03-15 11:37:02. | 3.279431 | 11.491177 | 13.409824 | 1.626094 | 0.900000 | 474517.734548 | 7363138.350410 | 14.231593 |
| 474545.728108 | 7363132.293104 | 2018-03-15 11:37:03. | 8.073789 | 13.805529 | 17.549538 | 5.632768 | 1.400000 | 474531.374070 | 7363134.993342 | 14.562124 |
| 474559.603339 | 7363129.861120 | 2018-03-15 11:37:04. | 5.652745 | 20.584650 | 21.400963 | 21.758928 | 1.500000 | 474545.728108 | 7363132.293104 | 14.186054 |
| 474573.518037 | 7363127.670372 | 2018-03-15 11:37:05. | 5.673415 | 15.642242 | 19.217236 | 1.833233 | 0.900000 | 474559.603339 | 7363129.861120 | 13.662561 |
| 474586.891697 | 7363125.869199 | 2018-03-15 11:37:06. | 4.688114 | 11.108931 | 13.589670 | 2.371253 | 0.800000 | 474573.518037 | 7363127.670372 | 13.630713 |
| 474600.788724 | 7363123.779074 | 2018-03-15 11:37:07. | 15.028045 | 18.718929 | 31.098883 | 10.402055 | 1.100000 | 474586.891697 | 7363125.869199 | 14.296364 |
| 474615.550100 | 7363121.045768 | 2018-03-15 11:37:08. | 11.117465 | 7.791732 | 14.081469 | 2.632344 | 1.300000 | 474600.788724 | 7363123.779074 | 15.087740 |
| 474628.957702 | 7363118.545918 | 2018-03-15 11:37:09. | 7.971700 | 9.127457 | 10.276124 | 8.001460 | 1.600000 | 474615.550100 | 7363121.045768 | 13.665993 |
| 474642.647014 | 7363117.039411 | 2018-03-15 11:37:10. | 21.981710 | 16.989910 | 27.796885 | 15.749678 | 2.200000 | 474628.957702 | 7363118.545918 | 13.703441 |
| 474656.575621 | 7363114.808078 | 2018-03-15 11:37:11. | 38.770790 | 10.486285 | 38.770790 | 47.984650 | 1.600000 | 474642.647014 | 7363117.039411 | 14.078046 |
| 474669.867114 | 7363112.560294 | 2018-03-15 11:37:12. | 13.852056 | 21.814730 | 23.594662 | 13.975906 | 1.900000 | 474656.575621 | 7363114.808078 | 13.507234 |
| 474684.184901 | 7363110.602400 | 2018-03-15 11:37:13. | 19.473381 | 27.918386 | 28.872770 | 26.553690 | 2.200000 | 474669.867114 | 7363112.560294 | 14.582274 |
| 474697.937599 | 7363108.272541 | 2018-03-15 11:37:14. | 14.763222 | 19.272121 | 21.835184 | 14.783584 | 1.700000 | 474684.184901 | 7363110.602400 | 13.783255 |

Kuvio 8. RoadFly:n prosessoitua dataa tien uraisuusarvoista ensimmäiseltä testipäivältä.

Jotta mittaustuloksista saatiin vertailukelpoisia pistepilvimuodossa oleviin referenssiaineistoihin, käytettiin näissä talvitesteissä automatisoidun datan lisäksi RoadFly-prototyypin 2D-laserscannerin tuottamaa raakadataa, joka tallennettiin Roadscanners Oy:n CamLink-ohjelmalla. Näin RoadFly:n data saatiin ulos LAS-pistepilvimuodossa, jota voitiin käsitellä Road Doctor -ohjelmistolla.

Testi 1

Ensimmäinen talvimittaus suoritettiin 1.3.2018. Sää oli pilvinen ja lämpötila oli -8°C. Tien pinnassa oli kuivaa jäätä, johon oli muodostunut paikoitellen syviä

ajouria liikenteen seurauksena (kuvio 9). Ensimmäisessä talvimittauksessa tutkittiin RoadFlyn toimintaa selkeissä talviolosuhteissa, joissa lumisade tai edellä ajavan auton lumipöly ei vaikuta mittauksiin.



Kuvio 9. Tien pinta ensimmäisenä testipäivänä

Prototyypillä tehtiin ensimmäisenä testipäivänä yhteensä kolme mittausta ajonopeuksilla 30 km/h, 50km/h ja 80 km/h. Roadscanners Oy teki samaan aikaan referenssimittaukset RDSV:lla.

Testi 2

Toinen talvimittaus suoritettiin 15.3.2018. Sää oli selkeä ja aurinkoinen ja lämpötila oli -9°C . Tien pinnassa oli kuivaa ja kiiltävää jäätä. Mittausten tarkoituksena oli tutkia, häiritseekö edellä ajavasta autosta pölyävä lumi mittalaitteen toimintaa. Tällaisiin olosuhteisiin päästiin siten, että mittalaitteen sisältävän kuorma-auton edellä ajoi henkilöauto aiheuttaen lumen pölyämisen (Kuvio 10). Näin selvitettiin, miten RoadFly toimii olosuhteissa, joissa on muuta tieliikennettä mukana.



Kuvio 9. Mittaus pölyävässä lumessa

Ensimmäinen mittaus tehtiin ajonopeudella 60km/h, mutta näin alhaisella nopeudella lumen pölyäminen jäi liian vähäiseksi. Toiseen mittaukseen vauhti nostettiin nopeuteen 80 km/h. Ajonopeudella 80 km/h lumi pölysi riittävästi, kun henkilöautolla ajettiin tarpeeksi lähellä tien reunaa ja henkilöauton etäisyys takana ajavaan kuorma-autoon pidettiin riittävän lyhyenä.

GNSS-testit

RoadFlyn GNSS-paikannukselle toteutettiin kaksi erillistä testaustapausta, joista yhdessä testattiin paikannuksen heittelyä RoadFlyn ollessa liikkumattomassa tilassa ja toisessa tarkkuutta sen ollessa liikkeessä. Ensin mainitussa testissä tarkasteltiin ainoastaan paikannuksen omaa variaatiota, kun liikkuvassa testissä RoadFlyn paikannusta verrattiin senttitarkan Trimble R8:n paikannukseen.

Stationäärisessä testissä RoadFly sijoitettiin avoimessa ulkotilassa sijaintiin, jonka läheisyydessä ei ollut mahdollisia satelliittiyhteyteen vaikuttavia häiriötekijöitä kuten esimerkiksi korkeita betoni- tai metallirakennelmia. RoadFlyn annettiin ensin olla 10 minuuttia paikallaan, jonka jälkeen sen annettiin kerätä 10 minuutin ajan paikannuspisteitä, joita kertyi 1 Hz paikannustaajuudella 600 kappaletta.

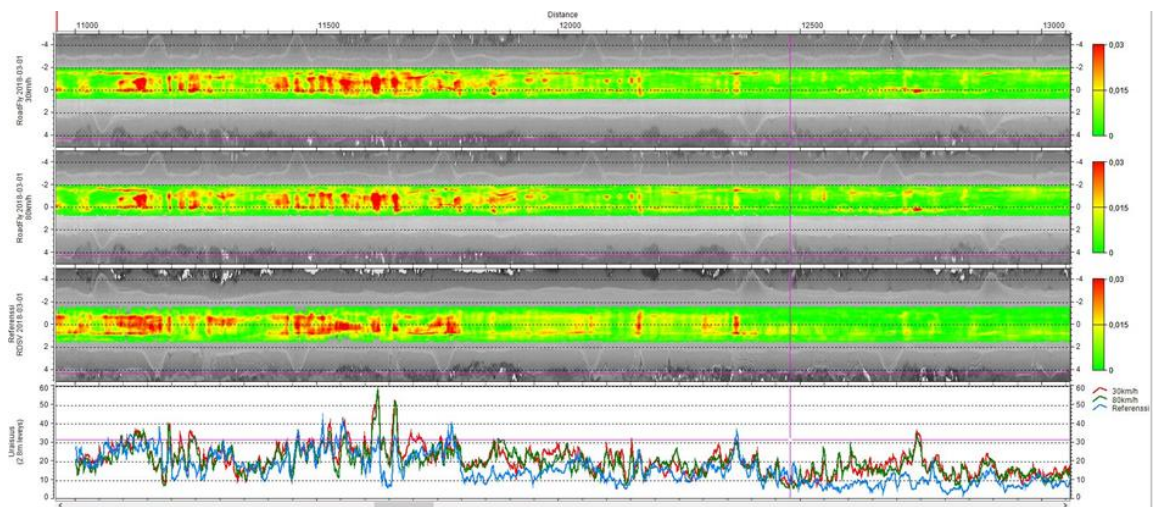
Liikkuvassa testissä GNSS-paikannusta verrattiin sen viereen asetetun Trimble R8:n paikannukseen kahden kilometrin ajomatalla. Kummankin GNSS-vastaanottimen päivitystaajuudeksi asetettiin yksi hertsi ja ne sijoitettiin Lapin ammattikoulun kuorma-auton eteen tuulilasin yläpuolelle.

5 MITTAUSTULOKSET

Mittausaineisto käsiteltiin Roadscanners Oy:n Road Doctor-ohjelmistolla, joka on monipuolinen sovellus tiemittausdatan käsittelyyn. Road Doctor-ohjelmisto mahdollistaa mittausdatan jatkokäsittelyyn, analysoinnin ja visualisoinnin. Sovellusta käytetään tiemittausten lisäksi ainakin silta- ja rautatiemittauksissa maailmanlaajuisesti. (Roadscanners 2018b.)

Mittautulosten analysoinnissa käytettiin lisäksi 3D-Win-mittausohjelmaa. Testeissä käytettyjen mittalaitteiden pistepilvet tuotiin ohjelmaan ETRS-GK26-koordinaattijärjestelmässä, jonka jälkeen niistä muodostettiin maastomallit kolmiointitoiminnolla. Maastomalleista muodostettiin poikkileikkauksia, joissa kaikkien kolmen laitteen poikkileikkaukset näkyvät samassa kuvassa.

Kuviossa 11 on ensimmäisen testipäivän tuloksia tien uraisuudesta Road Doctor-sovelluksella visualisoituna. Ylimpänä on RoadFly-mittautuloksia nopeudella 30 km/h, keskellä RoadFly-mittautuloksia nopeudella 80 km/h ja alimpana RDSV:n mittaama referenssiaineisto. Kuvion väriasteikko vihreästä punaiseen vastaa tien uraisuutta 0:sta millimetristä 30:een millimetriin. Kuvassa alhaalla sijaitsevassa kaaviossa punainen viiva on RoadFly-mittaukset ajonopeudella 30 km/h ja vihreä ajonopeudella 80 km/h mitattuna. Sininen viiva on referenssimittaus.



Kuvio 11. Ensimmäisen mittauspäivän tuloksia RoadFly -laitteistolla sekä Road Doctor Survey Van -mittausajoneuvolla

RoadFlyn mittaustulokset tien uraisuudesta olivat hyvin identtisiä ajonopeuksilla 30 km/h ja 80 km/h mitattuna, joten laitteen voidaan katsoa antavan luotettavia tuloksia ainakin 80 km/h nopeuteen asti. Prototyypin mittaamissa urasyvyyksissä oli jonkin verran eroavaisuuksia RDSV:n mittaamaan referenssiaineistoon, mutta molemmilla laitteilla mitatut suurimmat urasyvytydet sijoittuivat kuitenkin samoille osuuksille mittausaluetta.

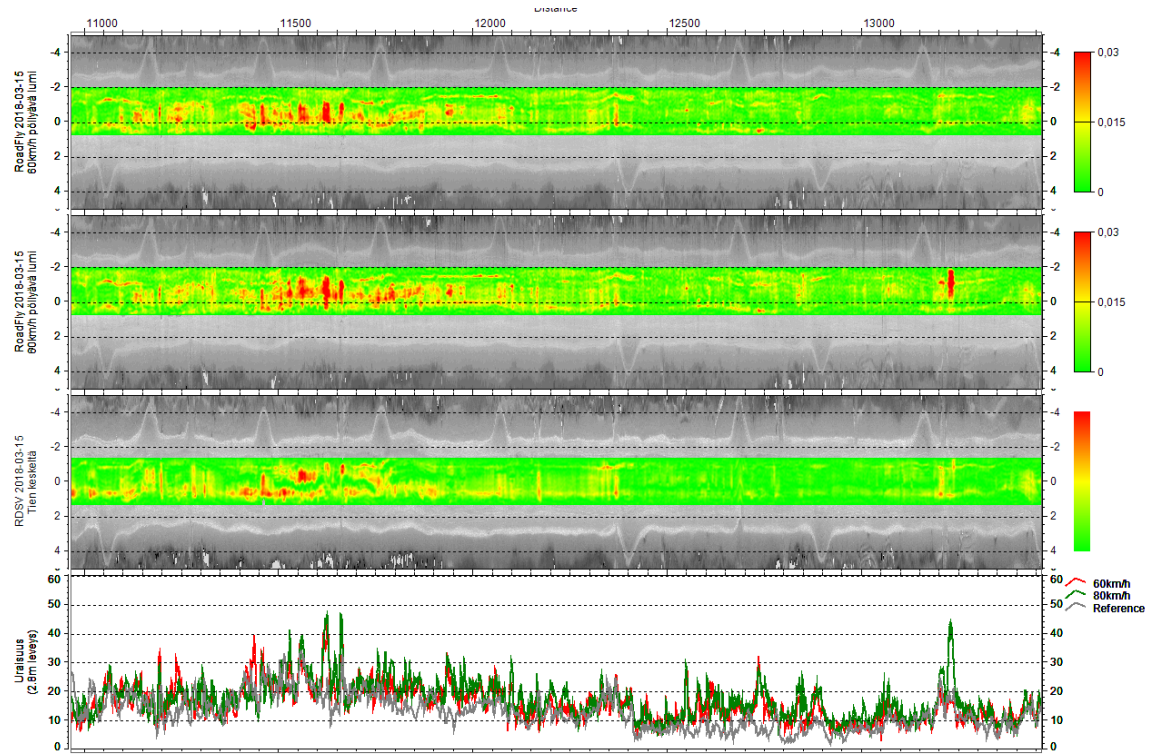
Taulukossa 2 on kuvattu molempien testipäivien mittaukset numeerisessa muodossa. Taulukkoon on listattu RoadFlyn ja RDSV:n uraisuuslaskentojen minimiarvo, maksimiarvo, keskiarvo, hajonta sekä mediaani testialueen mittauksista eri nopeuksilla. RoadFlyn urasyvyysien keskiarvo oli ensimmäisenä mittauspäivänä 3,5 mm ja toisena mittauspäivänä 4,3 mm suurempi kuin vastaavat RDSV:n mittaamat arvot. Eroavaisuudet tuloksissa johtunevat mittausepäätarkkuuksista, sillä RoadFlyn sisältämän 2D-laserkeilaimen tilastollinen virhe on valmistajan mukaan 12 mm. Testeissä havaittuja eroavaisuuksia mittalaitteiden tuloksissa voidaan pitää yllättävänkin pieninä. (Sick 2018.)

| PVM | mittalaite | nopeus (km/h) | min (mm) | max (mm) | keskiarvo (mm) | hajonta (mm) | mediaani (mm) |
|-----------|------------|---------------|----------|----------|----------------|--------------|---------------|
| 1.3.2018 | RoadFly | 30 | 6,9 | 57,8 | 20,3 | 7,1 | 19,3 |
| 1.3.2018 | RoadFly | 80 | 5,7 | 57,9 | 19,3 | 6,6 | 18,5 |
| 1.3.2018 | RDSV | 50 | 2,7 | 42,5 | 15,5 | 7,6 | 14,0 |
| 15.3.2018 | RoadFly | 60 | 5,0 | 43,9 | 16,2 | 6,0 | 15,5 |
| 15.3.2018 | RoadFly | 80 | 5,5 | 46,7 | 17,7 | 6,3 | 17,0 |
| 15.3.2018 | RDSV | 50 | 3,5 | 39,6 | 13,5 | 6,1 | 11,9 |

Taulukko 2. Yhteenveto tien uraisuusmittauksista

Kuviossa 12 on esitetty toisen mittauspäivän tuloksia. Kuvasta nähdään, että 60:n kilometrin tuntinopeudella ajettaessa lumipölyllä ei ollut vaikutusta RoadFlyn mittaustuloksiin, sillä siinä ei ole juurikaan poikkeavuuksia referenssimittaukseen. Myöskään ajonopeudella 80 km/h mitatussa datassa ei ole suurempia poikkeavuuksia referenssiarvoihin lukuun ottamatta kuvassa oikealla näkyvää yksittäistä kohtaa testiosuuden lopussa, jossa RoadFlyn mittaama uraisuus on hetkellisesti selvästi suurempaa. RDSV:n tallentamasta videokuvasta (Kuvio 13) tar-

kistettuna voitiin päätellä, että tuossa kohdassa kuorma-auto oli käynyt liian lähellä tien reunaa. Tämä sekoitti Road Doctorin uraisuuslaskentaa, koska sovellus otti laskentaan mukaan tien oikean puoleista reunavallia.

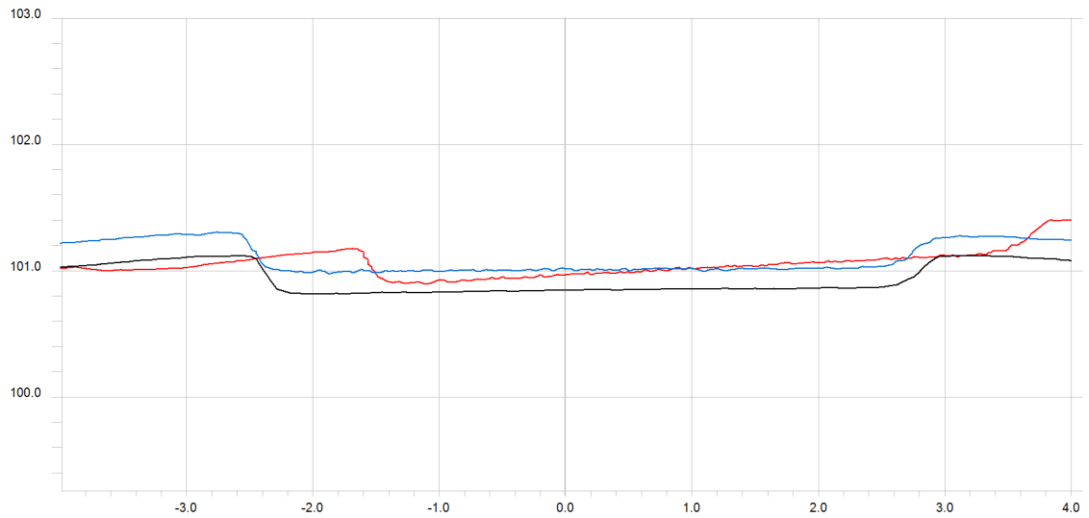


Kuvio 12. Toisen mittauspäivän tuloksia



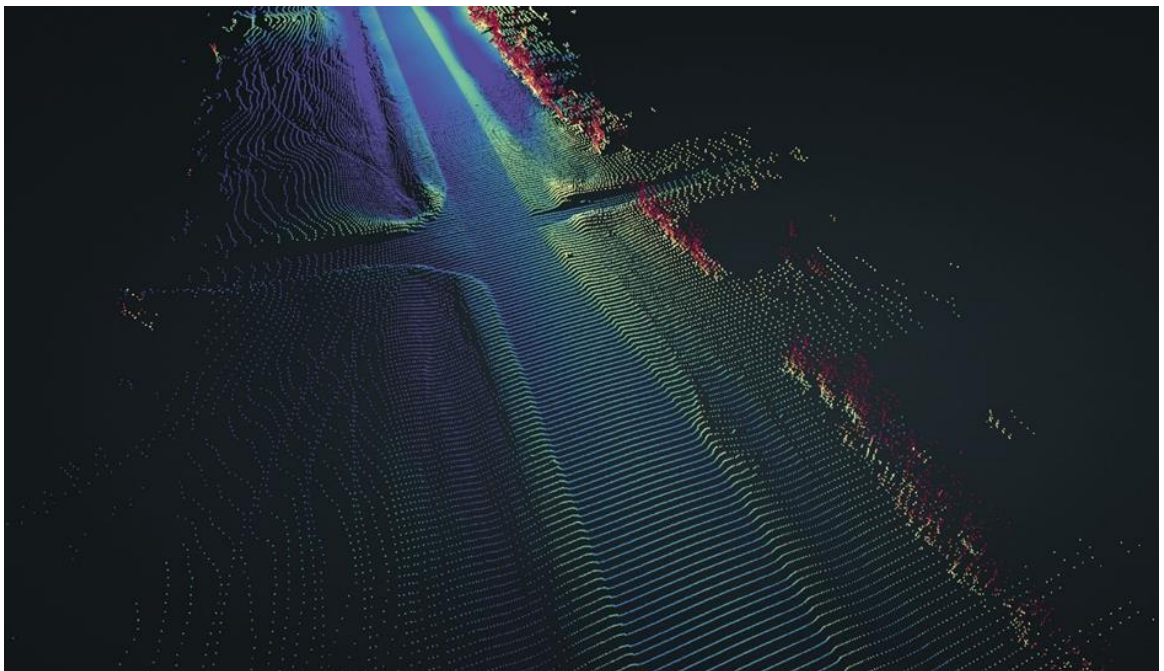
Kuvio 13. Kuvakaappaus RDSV:n tallentamasta videokuvasta

3D-Win-sovelluksella muodostetussa poikkileikkauks kuvassa on esitettyä testeissä käytettyjen mittalaitteiden tuottamat tien poikkileikkaukset samasta tienkohdasta väritettyinä mittalaitteiden mukaan (Kuvio 14). Punainen viiva kuvaa RoadFly'n, musta viiva SX10:n ja sininen viiva RDSV:n poikkileikkauksia. RoadFly'n poikkileikkaus on horisontaalisesti vinossa sekä noin metrin sivusuunnassa oikealla referenssiaineistoon verrattuna, mikä johtuu inertialaitteen puuttumisesta sekä siitä, että testimittauksissa R8-GNSS-vastaanotin kiinnitettiin kuorma-autoon noin metrin sivuun RoadFlyhyn nähden. Tämä ei kuitenkaan huononna laitteen suhteellista mittaustarkkuutta eikä näin ollen vaikuta sen tuottamiin tien uraisuusarvoihin. Skanneritakymetrin poikkileikkaus on muodostettu harvennetusta pistepilvestä, koska 3D-Win-ohjelma ei jaksanut käsitellä sen alkuperäistä tiheää pistepilveä. Siitä syystä tienpinnan yksityiskohdat eivät näy SX10:n poikkileikkauksessa niin tarkasti, että siitä olisi voinut mitata tien uraisuuksia. Road Doctor osoittautui tähän tarkoitukseen sopivammaksi ja monipuolisemmaksi työkaluksi.



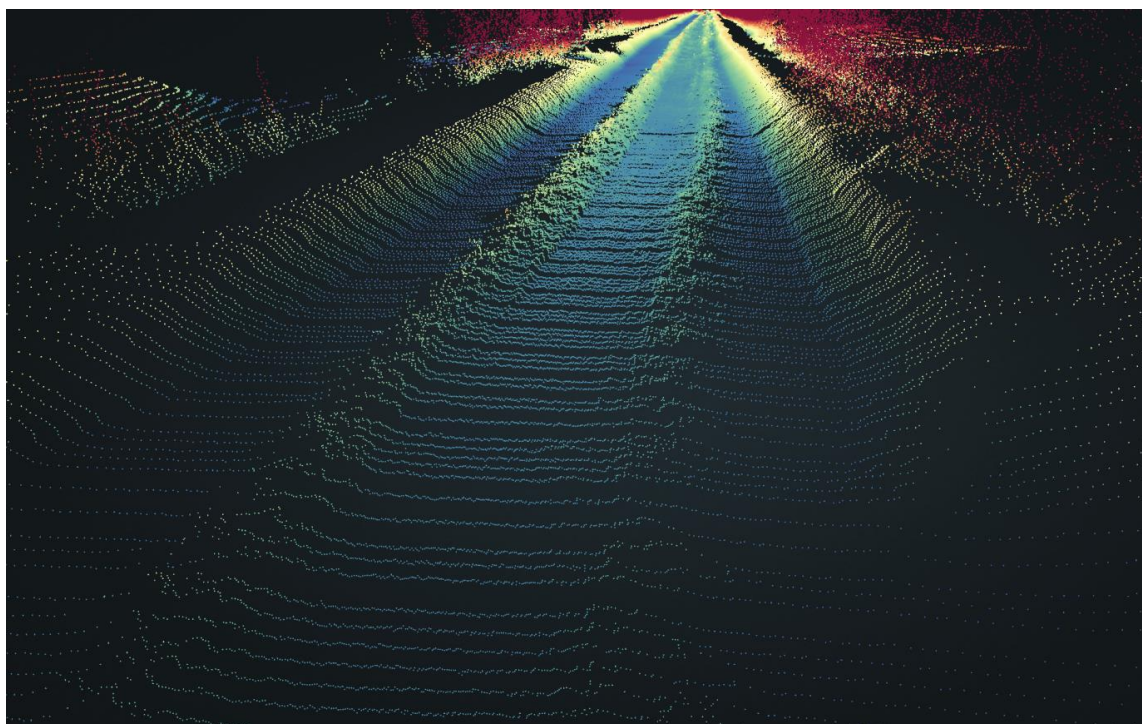
Kuvio 14. Poikkileikkauskuva 3D-Win-ohjelmasta

Näiden testien perusteella edellä ajavasta autosta aiheutuva lumipöly ei haittaa laitteen toimintaa, sillä prototyypin mittaustulokset eivät poikkea merkittävästi referenssimittauksista. Testipäivänä tienpinta oli jäinen eikä siinä ollut juurikaan irtolunta, joten testeissä ei saatu kuitenkaan aikaan niin suurta lumipölyä, kuin esimerkiksi lumisateella olisi saatu. Lumisateen vaikutusta skannerin toimintaan ei päästy kokeilemaan näissä testeissä.



Kuvio 15. RoadFlyn pistepilviaineistoa

Kuviossa 15 on RoadFlyn toisena testipäivänä 80 km/h nopeudella mittaamaa pistepilviaineistoa väritettynä korkeuden mukaan. Kuvassa ei näy lumipölyä juurikaan eli näissä testeissä aikaan saatu lumipöly ei haitannut laserskanneria. Riittävän sakea lumipöly näkyy laserskannerissa selkeinä virhepisteinä. Kuviossa 16 on Road Doctor Maintenance Controller-laitteella (RDMC) aikaisemmin mitattua aineistoa korkeuden suhteen väritettynä pistepilvenä. RDMC on Roadscanners Oy:n RDSV:tä edullisempi RoadFlyhyn verrattava mittalaite, joka voidaan helposti siirtää autosta toiseen. Kuvan reunoilla näkyy lumivallit ja tien ympäröivä maasto. Kuvan keskellä ajokaista näkyy pääosin sinisen eri sävyisinä pisteinä. Renkaiden aiheuttama lumipöly näkyy selvästi kaistan keskellä kellertävinä pisteinä. RDSV:ssa laserskanneri oli kiinnitetty auton taakse, jolloin mittausauton renkaista pölyävä lumi heijastaa osan lasersäteistä eivätkä ne käy tienpinnassa asti. RoadFly oli kiinnitetty kuorma-auton eteen, jolloin auton oma lumipöly ei vaikuttanut mittauksiin. (Roadscanners Oy 2018a, 3.)



Kuvio 16. RDMC:llä aikaisemmin mitattua aineistoa (Roadscanners Oy 2017)

Kostea tienpinta voi vaikuttaa lasersäteiden heijastuvuuteen. Kuviossa 17 on visualisoituna erittäin kostea tien pinta. Pistepilvi on värjätty lasersäteiden intensiteetin perusteella. Kuviossa 17 näkyy, että vastaan tulevien ajoneuvojen kaistalta

laserskanneri on saanut vain satunnaisia mittaustuloksia. (Roadscanners Oy 2017.)

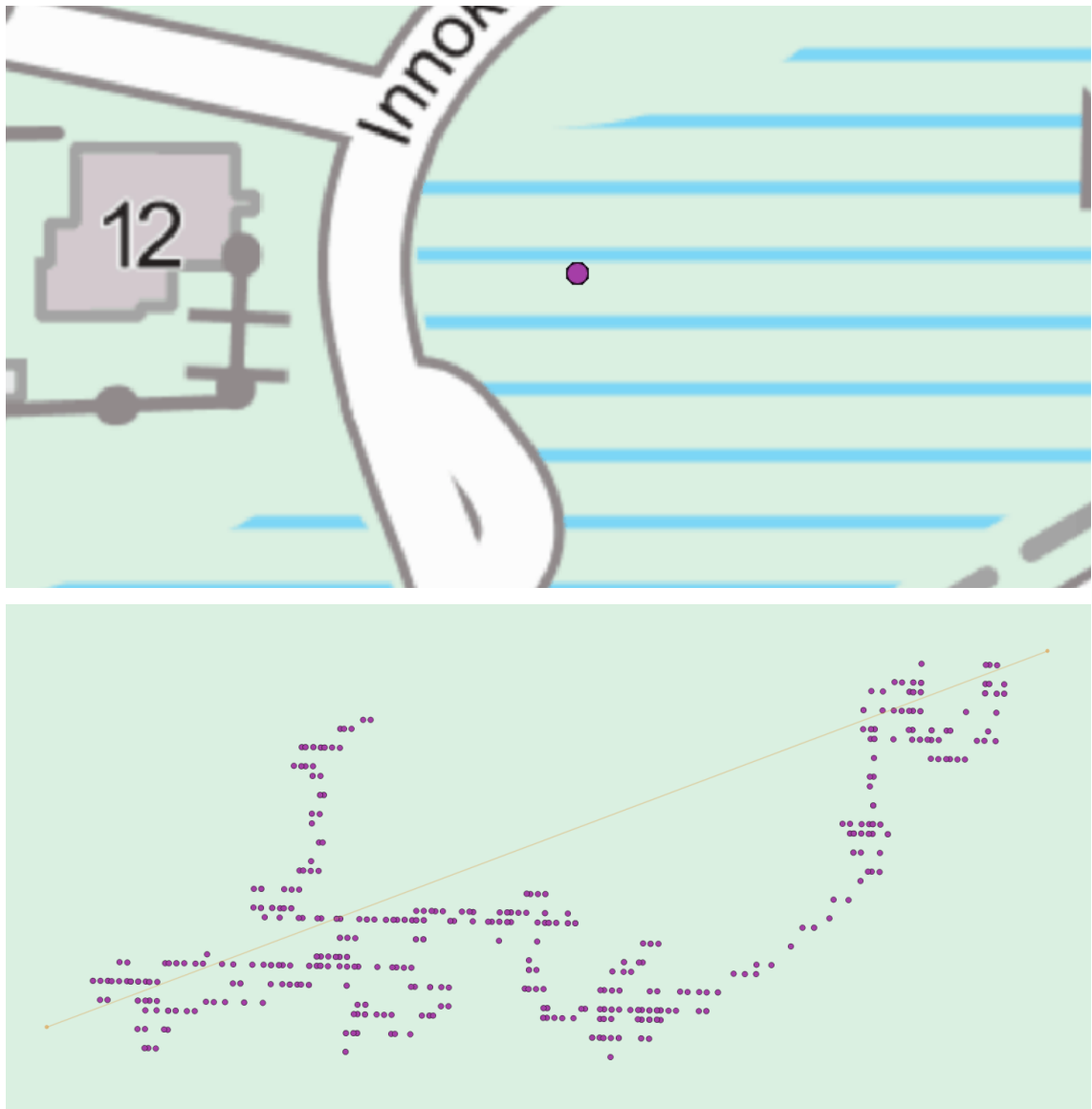


Kuvio 17. Laserskannausaineistoa kostealta tienpinnalta (Roadscanners Oy 2017)

Talvitesteissä oli suunnitelmana kokeilla laitteen toimintaa myös kostealla tienpinnalla. Kostean tienpinnan mittaukset olisi kuitenkin pitänyt ajoittaa pidemmälle kevääseen, jolloin aurinko olisi ehtinyt sulattaa tien jäistä pintaa. Näiden testien aikataulu tuli kuitenkin vastaan, eikä kostean jään mittauksia ehditty tehdä.

GNSS-paikannustestien tulokset

Stationäärinen paikannustesti tuotti kuvion 18 mukaisia tuloksia. Paikannusten sijaintien variaatio oli hyvin pieni.



Kuvio 18. Stationäärisen paikannustestin paikannukset läheltä ja kaukaa

Stationäärisen testin paikannusten vertailu osoitti, että kaikki paikannukset 10 minuutin ajalta voitiin rajata ympyrän sisälle, jonka halkaisija on vain 125 millimetriä. Tämä testi ei kuitenkaan kuvaa hyvin RoadFlyn toimintatavan mukaista paikannusta, sillä mittausten yhteydessä se on aina liikkeessä.

RoadFlylle suoritettiin toinen paikannustesti liikkuvassa tilassa, jossa sen paikannusta verrattiin senttitarkkaan referenssipaikannukseen. Kuviossa 19 on RoadFlyn (punainen) ja Trimble R8:n (sininen) tuottamien paikannusten polut.



Kuvio 19. Referenssi- ja RoadFlyn GNSS-vastaanottimien paikannuksista muodostetut polut rinnakkain

Ajoneuvon menosuuntaan nähden RoadFlyn paikannus poikkesi referenssistä sivuttaissuunnassa noin -40 senttimetristä 500 senttimetriin. Paikannustarkkuuden vertailu kohtisuorassa ajoneuvon menosuuntaan nähden oli vaikeampaa toteuttaa johtuen paikannusten vaihe-erosta. Jos kuitenkin oletetaan sivuttaissuuntaisen paikannusvirheen olevan samaa luokkaa menosuuntaan nähden, voidaan todeta 80 km/h nopeudella ajettaessa RoadFlyn paikannusvirheen vaikuttavan yksittäisen mittauksen sijaintiin suurimmillaan noin 10 metriä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Alasca-pilotin talvitestien tavoitteena oli suorittaa mittauksia RoadFly-prototyypillä erilaisissa talviolosuhteissa ja löytää rajoja laitteen toimivuudesta talvimitauksissa. RoadFly lähettää tietoa automatisoidusti eteenpäin tien polanteisuudesta (uraisuudesta) ja reunavallien korkeuksista. Tässä työssä keskityttiin tutkimaan mittaustuloksia tien polanteisuuden kannalta ja GNSS-paikannuksen tarkkuutta. Testit tehtiin kahtena eri päivänä, joten mittauksiin saatiin vaihtelevuutta sääolosuhteissa ja tien jää- ja lumipintojen koostumuksissa. Prototyyppi kiinnitettiin koemittauksissa kuorma-auton etuosaan ja sillä mitattiin useita mittauksia eri nopeuksilla samalla testiosuudella molempina testipäivinä. Ensimmäisenä testipäivänä kokeiltiin laitteen toimivuutta niin sanotuissa normaaleissa talviolosuhteissa ja toisena testipäivänä mukaan otettiin muun tieliikenteen aiheuttamaa lumipölyä. Varsinaisten koemittausten yhteydessä suoritettiin referenssimittaukset Roadscanners Oy:n RDSV-mittausajoneuvolla ja toisena testipäivänä lisäksi Trimble SX10-skanneritakymetrillä. Referenssimittausten ja RoadFly-prototyypin tuottamien mittaustulosten erot olivat melko pieniä, varsinkin kun otetaan huomioon laitteen käyttötarkoitus ja teinhoidollisten vaatimusten asettamat raamit.

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että jäiset ja lumiset tienpinnat eivät haittaa laitteen toimintaa ainakaan, jos jään päällä ei ole vettä. Koemittauksissa tien pinta oli kuivaa jäätä ja lunta eivätkä nämä pinnat tuottaneet laitteelle ongelmia. On kuitenkin otettava huomioon, etteivät olosuhteet olleet laserskannauksen osalta haastavimmat mahdolliset. Ennen testejä oletuksena oli, että jäiset pinnat joiden päällä on vettä, voisivat olla lasersäteiden heijastuvuuden kannalta ongelmallisia. Myös Roadscanners Oy:n ennen talvitestejä sulan maan aikaan tuottama mittaussaineisto osoitti, että lasersäteet heijastuvat huonosti tien päällä olevasta vedestä. Tällaiset tienpinnat ovat tyypillisiä loppupalvella tai keväällä aurin gon sulattaessa jäistä tienpintaa. Näissä talvitesteissä ei aikataulun rajallisuuden vuoksi päästy suorittamaan kostean jään mittauksia. Se voisikin olla hyvä jatko-tutkimusaihe laitteelle. Mikäli prototyypillä tehdään vielä uusia talvitestejä, voisi niissä tutkia myös reunavallimittauksia ja mittauksia esimerkiksi sohjossa tai lumisateessa. Sakea lumisade luultavasti estäisi lasersäteiden pääsyn tienpintaan,

mutta toisaalta voidaan miettiä, onko laitetta edes tarkoitettu käytettäväksi niin haastavissa olosuhteissa.

Edellä ajavasta autosta pölyävä lumi ei mittausten perusteella haittaa mittalaitteen toimintaa. Testeissä käytettiin menetelmää, jossa mittauksia tekevä kuorma-auto ajoi huomattavasti lähempänä edellä ajavaa henkilöautoa kuin mittaustilan-teen ulkopuolella ajettaisiin. Lisäksi henkilöauto ajoi aivan tien reunassa, jotta se sai aikaan mahdollisimman suuren lumipölyn. Näistä seikoista huolimatta lumipölyn ei havaittu vaikuttavan mittaustuloksiin, sillä merkittäviä eroja referenssiai-neistoon ei löytynyt. Toisaalta pölyävän lumen testejä tehdessä tienpinta oli jäi-nen, joten lumipölyn määrä ei ollut niin suurta kuin se esimerkiksi lumisateen jäl-keen olisi ollut. Pidettäessä kuitenkin normaali turvaväli mittaavan ajoneuvon ja edellä ajavan auton välillä on tieliikenteen aiheuttama lumipöly tuskin suurempaa kuin mitä se näissä testeissä oli. Lammi (2013, 33-35) on opinnäytetyössään tut-kinut laserkeilaimen käyttökelpoisuutta avotunturiolosuhteissa ja sitä, kuinka olo-suhteet vaikuttavat keilaimen toimintaan. Tässä työssä keilainta oli käytetty käyn-nissä olevien lumitykkien läheisyydessä ja tällöin oli havaittu keilausetäisyyden olevan lyhyempi kuin selkeämmissä olosuhteissa. On kuitenkin huomattava, että tien keilauksessa etäisyydet ovat joka tapauksessa hyvin lyhyitä.

RoadFlyn GNSS-paikannusta testattiin kahdessa eri osassa. Ensimmäisessä paikannusta testattiin RoadFlyn ollessa paikoillaan ja toisessa sen ollessa liik-keessä, verraten paikannusta referenssiin. Stationäärisessä testissä testattiin ai-noastaan vastaanotetun paikkatiedon variaatiota 10 minuutin ajalta. Nämä pai-kannukset mahtuivat ympyrän sisälle, jonka halkaisija oli 125 millimetriä. Liikku-vassa testissä RoadFlyn paikannusta verrattiin referenssiin poikittaissuunnassa menosuuntaan nähden. RoadFlyn paikannukset vaihtelivat välillä 40 senttimetriä referenssin vasemmalla ja 500 senttimetriä referenssin oikealla puolella.

LÄHTEET

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2018 Viitattu 3.4.2018. <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/talvihoito#.WsMVqpe-nIU>.

Geotrim 2018. Trimble SX10 scanning total station. Tekniset tiedot.

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu Viitattu 1.4.2019
<https://drive.google.com/file/d/0B3MfAqwXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGMylTIKOWUtNTQzMdIwZTI3NDVm/view>

Kaartinen, H. Hyypä, J. Kukko, A. Jaakkola, A & Hyypä, H. 2012. Benchmarking the Performance of Mobile Laser Scanning Systems Using a Permanent Test Field. *Sensors Vol 12 Issue 9, 12814-12835*. Viitattu 2.4.2018 doi:10.3390/s120912814.

Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetriin mittaustehtäviin.

Lammi, H. 2013. Lumiaidat ja lumenpinnan mittaus vaihe-erolaserkeilaimella. Opinnäytetyö. Lapin ammattikorkeakoulu.

Leinonen, J., Jaakkola, M. & Onninen, H. 2015. Ajoneuvolaserkeilaus tien painuman mittauksessa. *LIIKENNEVIRASTON TUTKIMUKSIA JA SELVITYKSIÄ 8/2015*.

Liikennevirasto. Maanteiden talvihoito. 2015. Viitattu 6.2.2019
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/mt_talvihoito_2015_web.pdf.

Liikennevirasto. Maanteiden talvihoito. 2017. Viitattu 4.2.2018
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-01_maanteiden_talvihoito_web.pdf.

Liikennevirasto. Teiden talvihoito. 2018a. Viitattu 3.4.2018
<https://www.liikennevirasto.fi/tieverkko/kunnossapito/talvihoito>.

- 2018b Uramittausten mittaustekniikoiden vertailu. Viitattu 20.2.2019
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2018-17_uramittausten_mittaustekniikoiden_web.pdf.

Roadscanners Oy 2017. T. Saarenpään lähettämiä kuvia yrityksen arkistosta. Sähköpostikeskustelut huhtikuussa 2018.

Roadscanners Oy 2018a. Tiealueen monitorointi. Raportti.7.

- 2018b. Road Doctor-ohjelmiston kuvaus. Viitattu 30.3.2018 <http://www.roadscanners.com/products/software-products/road-doctor/>.

Sick 2018. 2D LiDAR sensors LMS1xx. Tekniset tiedot. Viitattu 5.4.2018
<https://www.sick.com/de/en/detection-and-ranging-solutions/2d-lidar-sensors/lms1xx/lms151-10100/p/p141840>

Trimble 2015. Trimble R8 GNSS system. Tekniset tiedot. Viitattu 13.4.2018
http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-140079/022543-079N_TrimbleR8GNSS_DS_1014_LR.pdf

Virtala, P., Alanaatu, P. & Huuskonen-Snicker, E. 2018. Uramittausten mittaus-
tekniikoiden vertailu - Tosimitta- ja tuotantomittaustesti. Finnish Transport
Agency. Viitattu 11.4.2018 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2018-17_uramittausten_mittausmekaniikoiden_web.pdf.