

AUTOMAATTISEN TIEDONTUOTANNON KOKEILU: LIIKKUVAN LASERKEILAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN TEIDEN KUNNOSSAPIDOSSA

RAPORTTI

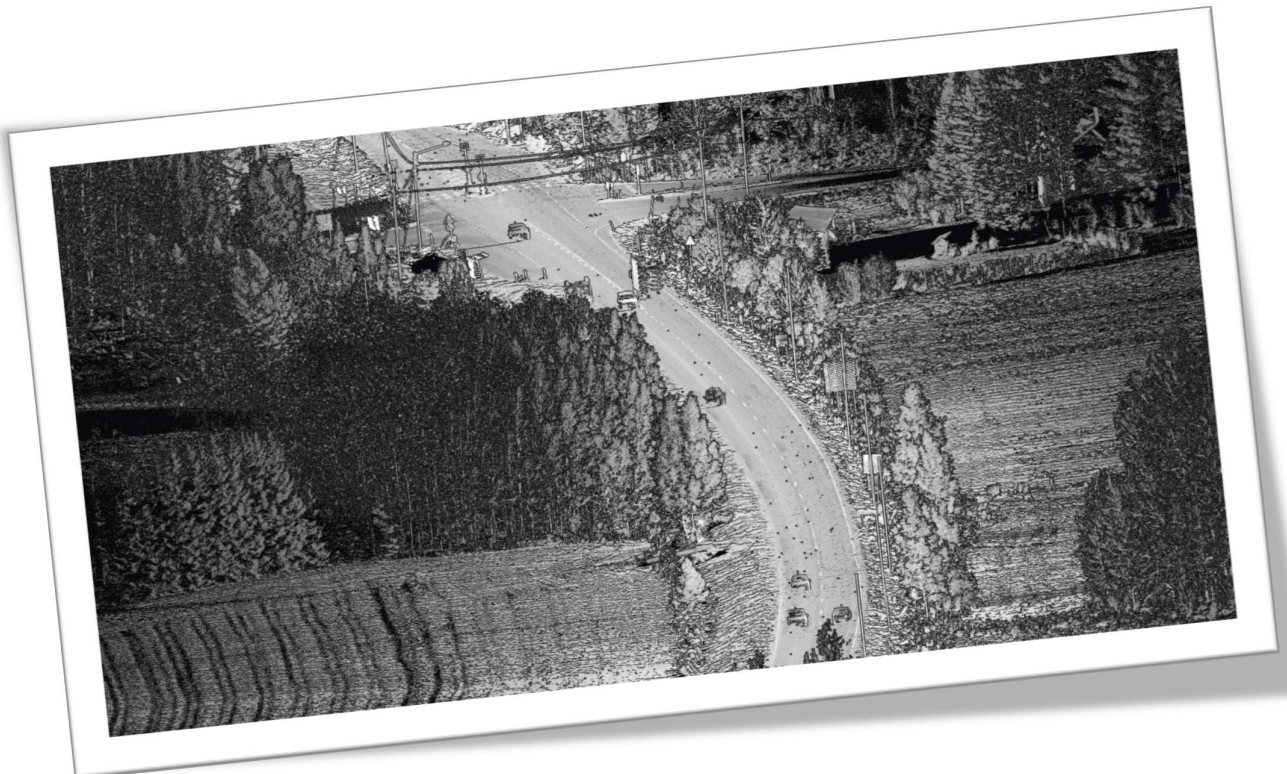
19.12.2017

Solid Potato Oy

Juha Hyyppä
Antero Kukko
Anttoni Jaakkola
Harri Kaartinen
Xiaowei Yu

Sisällys

1. Tavoite.....	2
1.1 Liikenneviraston tavoitteet.....	2
1.2 Solid Potato Oy:n tavoitteet.....	2
2. Tutkittu ratkaisumenetelmä.....	3
3. Tehdyt mittaukset.....	6
4. Analysointiratkaisut.....	7
5. Tulokset.....	9
5.1 Vaurioiden irrotus 3D-pistepilvestä.....	9
5.2 Matalien vaurioiden havaitseminen 3D-pistepilvestä.....	10
5.3 Vaurioiden etsiminen profiileista keilainkoordinaatistossa.....	11
6. Johtopäätökset	18



1. Tavoite

Kokeilun tavoitteena oli tuottaa tietoa päälystevaurioista laserkeilauksen avulla. Tavoitteena on selvittää kahden eritasoisen liikkuvan laserkeilauslaitteiston tuottaman tiedon soveltuvuutta päälystevauriokartoituksessa. Kokeilussa suoritetaan koereittien tarkka laserkeilaus.

1.1 Liikenneviraston tavoitteet

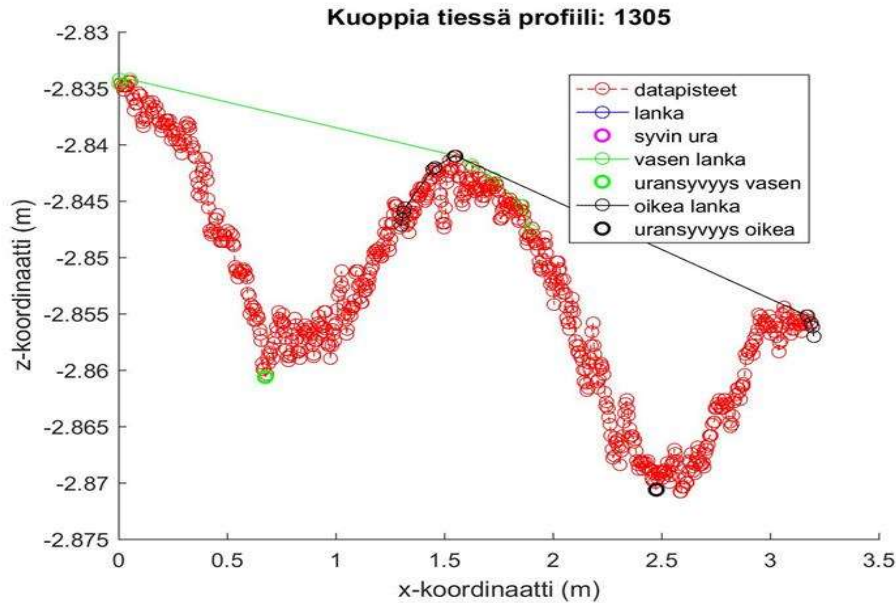
Päälystevauriokartoituksella tarkoitetaan päälystettyjen teiden korjaustarpeen visuaalista inventointia. Korjaustarpeen inventointi suoritetaan ajoneuvolla ajaen arvioiden silmämääräisesti päälysteiden eri vauriotyypin, kuten halkeamien, purkaumien, painumien ja reikien vakavuutta. Vaurion tai vaurioiden perusteella määritetään onko jakso korjaustarpeessa.

Nykyinventointi suoritetaan ajoneuvolla ajaen arvioiden silmämääräisesti päälysteiden eri vauriotyypin vakavuutta, jonka perusteella merkitään jaksolle joko korjaustarve tai ei korjaustarvetta. Inventointi suoritetaan kahden hengen miehistöllä, siten että toinen ajaa ajoneuvoa ja toinen merkkää tiedonkeruulaitteelle korjaustarpeessa olevat jaksot. Inventointia suoritettaessa on tärkeää, että molemmat henkilöt arvioivat päälystevaurioita/korjaustarvetta ja kommunikoivat niistä ajon aikana. Korjaustarpeen arvioinnissa hyödynnetään molempien henkilöiden havainnointia.

1.2 Solid Potato Oy:n tavoitteet

Solid Potato Oy on Suomen Akatemian Laserkeilaustutkimuksen huippuyksiköstä syntynyt spin-off-yritys. Yritys on perustettu vuonna 2015. Yrityksen perusajatuksena on edistää uuden paikkatietotekniikan teknologian siirtoa operatiivisiin organisaatioihin ja yrityksiin. Yrityksen perustivat viisi tieteellisesti ja tutkimuksen vaikuttavuutta eniten Paikkatietokeskuksessa edistäneet tutkijat. Heillä on laajaa kokemusta geodesiasta aina UAV laserkeilaukseen. Teknologian siirron painopisteenä onkin liikkuva laserkeilaus ja sen sensorit (samat sensorit käytössä autonomisissa ajoneuvoissa) ja siihen liittyvät sovellukset. Kaksi perustajista on ollut mukana perustamassa Sharper Shape Oy:tä ja Sharper Shape Group Ltd sekä ArcticRED Oy:tä, joka keskittyy itseajavien autojen sensoriratkaisuihin.

Yrityksen tavoitteena on kehittää palvelutuote, joka mahdollistaa yhdellä keilauksella sekä urien mittauksen (Kuva 1) että teiden päälysteiden korjaustarpeen määrittämisen.



Kuva 1. Uramittauslaskenta ja esimerkki poikkileikkauksen laskemisesta. Yrityksen tavoite on saada integroitua päällystevauriomittaus uramittaukseen.

2. Tutkittu ratkaisumenetelmä

Liikkuva laserkeilaus tuottaa ympäristöstä tiheän ja tarkan pistepilven, joka kuvaa yksityiskohtaisesti mittausajoneuvon ympärillä olevia kohteita, kuten tienpintaa, kaiteita, liikennemerkkejä, kasvillisuutta ja rakennuksia. Käytettävän laitteiston hinnasta ja laadusta riippuen puhutaan jopa millimetriluokan tarkkuuksista, mikä mahdollistaa mm. tien urautumisen tarkan seurannan. Lisäksi kolmiulotteisena aineistona pistepilvestä voidaan mallintaa esim. avoin vaadittu liikennetila sekä näkemäalueet. Talvihoitoa ajatellen liikkuva laserkeilaus tuottaa tietoa lumen ja sohjon syvyydestä, polanteen paksuudesta ja epätasaisuudesta sekä lumikinoksista.

Pistepilviaineiston etuna on sen monikäyttöisyys ja automaattisen tulkinnan helppous. Yhdellä mittauskerralla voidaan tuottaa dataa moniin eri sovelluksiin ja aineistosta voidaan jälkikäteen tulkita asioita, joita ei mittaushetkellä osattu ajatella. Pistepilviaineiston automaattinen tulkinta on myös usein helpompaa kuin kuva-aineiston, koska aineisto on valmiiksi mittatarkkaa ja kolmiulotteista. Lisäksi erilaisten muutostulkintojen tekeminen kahden ajankohdan aineistojen välillä on mahdollista.

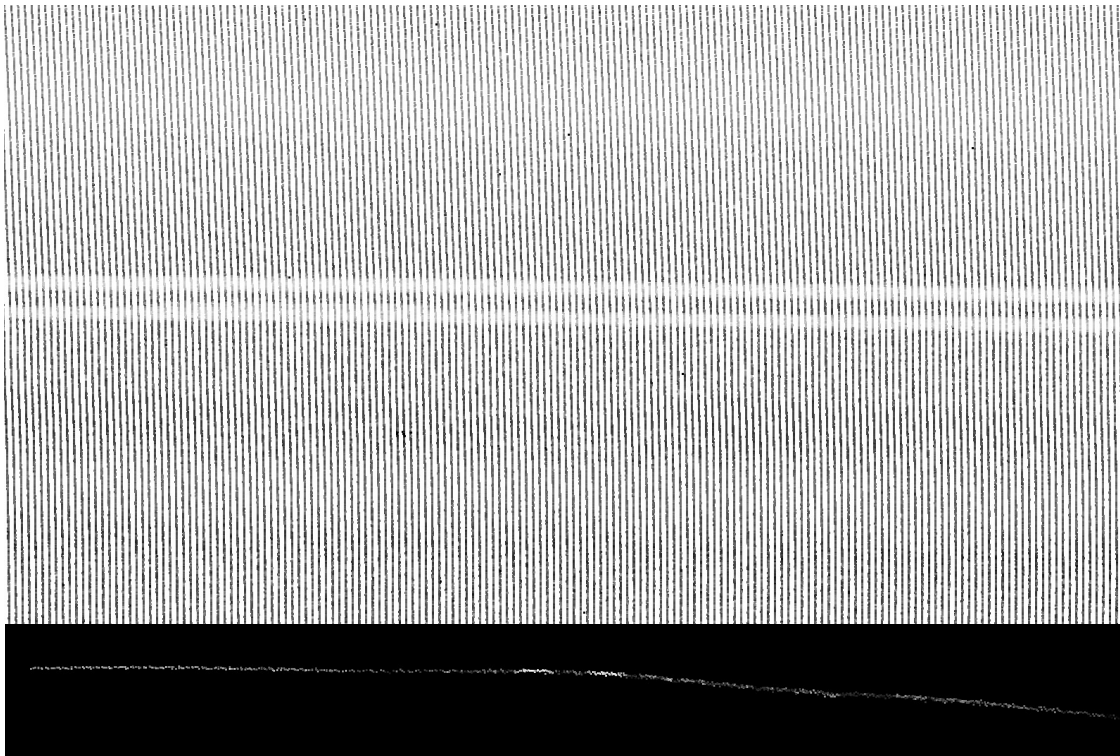
Tekniikan kehittymisen sekä kuljettajaa avustavien järjestelmien ja autonomisten autojen yleistymisen myötä laserkeilalaitteiden hinta on laskenut nopeasti. On odotettavissa, että yksittäisen laserkeilaimen sarjatuotantohinta laskee satojen eurojen tasolle, kun niiden käyttö yleistyy autoteollisuudessa. Tällöin tarvittava mittalaitteisto voidaan asentaa suureen määrään ajoneuvoja, jolloin koko maan kattava aineisto voidaan päivittää esimerkiksi päivittäin tai viikoittain. Jos EU-tasolla päätetään autonomisten autojen

mittaamaan datan tekemisestä avoimeksi, on laserkeilausaineistoa saatavissa lähes reaaliaikaisesti lähes kaikilta tieosuuksilta.

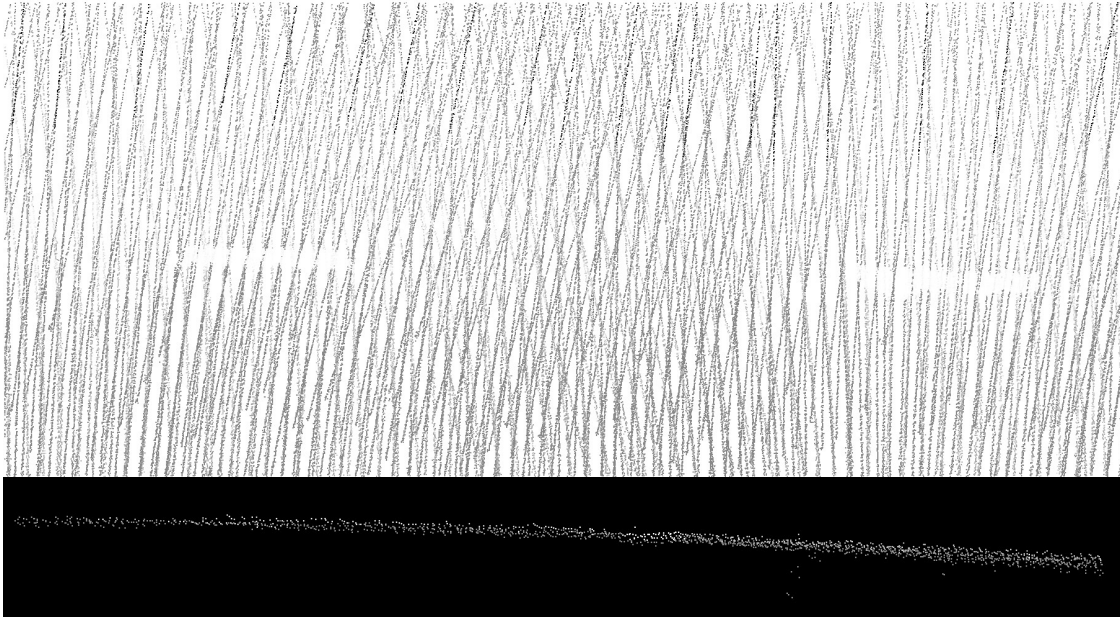
Tavoitteena oli kokeilla kahta Solid Potaton ja Laserkeilauksen huippuyksikön kehittämää liikkuvaa laserkeilausjärjestelmää, jotka ovat

- Riegl VUX-1HA keilainpohjainen järjestelmä, joka tuottaa nopeimmillaan miljoona pistettä sekunnissa. Koska peräkkäisten pyyhkäisyjen väli on 4 ms, laitteella saadaan 4 sentin välein uusi laserpistelinja ajattaessa 40 km/h. Keilain pystyy lähettämään n. miljoona pulssia sekunnissa.
- Velodyne VLP-16-pohjainen järjestelmä, joka tuottaa samanaikaisesti 16 profiilia 2° välein $\pm 15^\circ$ aukeamakulmalla. 10 Hz keilaustaajuudella laite tuottaa siten 160 profiilia/s, 1875 pistettä per profiili, eli yhteensä 300000 pistettä sekunnissa. 40 km/h ajonopeudella profiiliväli on n. 70 mm, 30° aukeamakulmasta johtuen profiiliväli kasvaa n. 10 cm:ksi kahden suurimman kulman (13° ja 15°) välillä. Lisäksi profiilit tuottavat ylhäältä katsottuna kaarevia projektioita tienpintaan, ja siksi kaistan reunassa peräkkäisten profiilien väli on vieläkin suurempi, ks. Kuva 3. Mittauksen edetessä välit kuitenkin osin tihentyvät hieman viistosti eteen- ja taaksepäin mittaavien profiilien ansiosta.

Kuvissa 2 ja 3 on visualisoitu kyseisillä laitteilla tiepinnasta tehtyjä mittauksia ylänäköystä ja poikkileikkauksen avulla.



Kuva 2. Riegl Vux-1HA järjestelmän tuottama esimerkkikuva tiepäällysteestä. Yllä ylänäkemä pisteprofiileista ja alla 6 cm leveä poikkileikkausprofiili tien poikittaissuunnassa. Poikkileikkausprofiiliin (kuvaa mittausten hajontaa pinnalla) paksuus on 1 cm.



Kuva 3. Velodyne VLP-16- järjestelmän tuottama esimerkkikuva tiepäälysteestä. Yllä ylänäkemä pistepiirileista ja alla 6 cm leveä poikkileikkausprofiili tien poikittaissuunnassa. Poikkileikkausprofiilin paksuus on 3 cm.

Seuraavassa on esitetty tarkemmin ensimmäisen keilaimen suorituskykyä, koska analyysimme perustuvat jatkossa tähän aineistoon. Syy tähän on, että päällystevaurioiden erottaminen on vaikeata kuvan 2 mukaisessakin tilanteessa mittauksen ja tien pinnan karkeuden aiheuttaman hajonnan vuoksi. Velodyn VLP-16 keilaimella tehdyistä mittauksista ei saada päällystevaurioita selvitettyä etäisyshajonnan, liian suuren keilan koon ja liian harvan pistetiheyden takia.

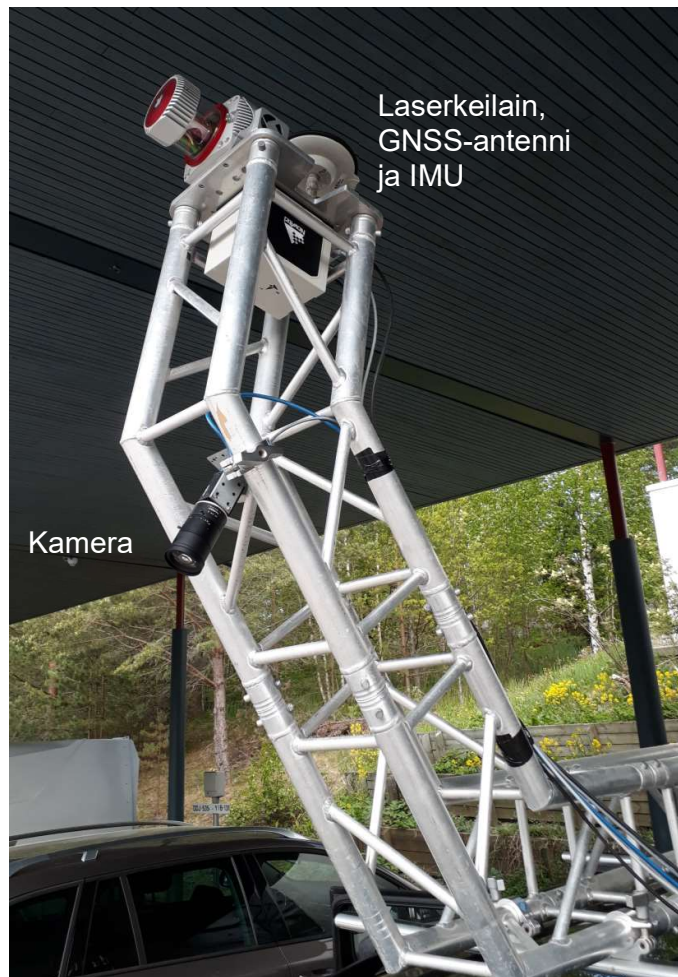
- Roamer-laitteisto Riegl VUX-1HA keilaimella, joka tuottaa miljoona pistettä sekunnissa. Integroituna navigointitason inertiajärjestelmään.
- Koska peräkkäisten pyyhkäisyjen väli on 4 ms, laitteella saadaan 4 sentin välein uusi ajolintaan nähden poikittainen profiili ajattaessa 40 km/h ja 8 sentin välein ajattaessa 80km/h. Auton takaa sensorin alapuolelta tienpinnasta mitataan pisteitä 4 mm, kaistan reunasta 5 mm ja tien reunasta n. 10 mm välein. Yksittäisen pisteen etäisyysmittaustarkkuus on 2-3 mm ja lasersäteiden valaiseman alueen (divergenssi 0,3 mrad) koko on 4-5 mm. Niinpä koko tien pinta tulee katettua lähes kauttaaltaan.
- Mittauksessa on hajontaa johtuen keilaimen mittaustarkkuudesta 2-3 mm, mutta myös tien pinnan luonnollisen, bitumin kulumisesta aiheutuvan karkeuden ja kiviaineksen koon ja laadun takia.
- Data voidaan prosessoida joko karttakoordinaatistoon georeferoituna pistepilvenä, jolloin jokaisen pisteen absoluuttinen sijainti on tiedossa (3D analyysi), tai keilainkoordinaatistossa (2D), jossa jokainen profiili analysoidaan erikseen ja tulos yhdistetään seuraavien profiilien havaintoihin. Karttakoordinaatistoon muunnetun pistepilven absoluuttinen tarkkuus hyvissä GNSS olosuhteissa on noin 5 cm. Keilainkoordinaatistoa käytettäessä paikannus voidaan tehdä suhteessa tien keskilinjaan ja päällysteen reunaan. Tämän jälkeen muutaman millin välein mitatuista profiilipisteistä ja 40-80mm välein mitatuista uusista profiileista voidaan laskea halutut tunnusluvut perinteisen tilastomatematiikan keinoin

3. Tehdyt mittaukset

Koetöitä varten suoritettiin koealueen laserkeilaus Roamer-järjestelmällä marraskuussa 2016 ja toukokuussa 2017. Laserkeilausjärjestelmä oli molemmilla kerroilla sama, mutta marraskuun 2016 ajokerralla riittävän laadukasta kuva-aineistoa ei voitu kerätä valaistusolosuhteiden takia. Tämän vuoksi koetyö päätettiin uusiksi toukokuussa 2017, jolloin käytettiin PointGrey GS3-kameraa, jolla kuvattiin ajettavaa kaistaa 2 Hz kuvataajuudella vertailuaineiston keruuta varten.

Roamerissa, Kuva 4, on Riegl VUX-1HA-laserkeilain, joka mittaa tietä poikittaisprofiilein suurimmillaan 250 Hz keilaustaajuudella ja tuottaa mittauspulsseja enintään 1017 kHz taajuudella. Käytännön profiiliväli oli 45 mm 40 km/h ajonopeudella ja 67 mm 60 km/h ajonopeudella. 60 km/h oli myös suurin käytetty mittausajonopeus.

Paikannus tehdään GNSS-IMU-laitteistolla, joka havainnoi GPS ja GLONASS satelliitteja sekä alustan liikettä. Paikannuslaitteisto tuottaa sensorin paikan ja asennon kolmiulotteisessa avaruudessa laseraineiston georeferointia varten 200 Hz taajuudella.



Kuva 4. Riegl VUX-1HA keilaimeen perustuva Roamer-laserkeilausjärjestelmä ja ajokaistaa kuvaava kamera asennettuna auton katolle alumiinitrussiin. Kamera on myös synkronoitu paikannusjärjestelmään.

Mittaukset suoritettiin 24.11.2016 ja 30.5.2017 ajamalla reitti molempiin ajosuuntiin. 24.11.2016 tienpinta oli märkä, mikä näkyy pistepilviaineistossa syvempien, vettä keräävien reikien ja halkeaminen kohdalla aukkoina. Muita vaikutuksia aineistossa ei havaittu. Toisella kerralla 30.5.2017 tie mitattiin kuivana, mutta halkeamat oli suurelta osin paikattu bitumilla.

Pistepilviaineistot laskettiin jälkilaskentana käyttäen virtuaalisia tukiasemia, joita laskettiin yhteensä 5; yksi reitin molempiin päihin ja kolme muuta tasaisin välein sen varrelle. Pistepilviä ei ole suorapaikannuksen lisäksi korjattu mitenkään muuten.

4. Analysointiratkaisut

Analysointiratkaisuksi mietittiin seuraavia vaihtoehtoja

1. Tilastollisten piirteiden määrittäminen laserkeilausaineistosta sekä korreloiminen halutuilla tieosuuksilla LIVIn antaman referenssi kanssa
2. Valokuva-aineistosta vaurioiden luokitus, tien jakaminen osuuksiin ja käyttäminen referenssinä tilastollisella lasertulkinnalle
3. Päälystevauriopisteiden luokitus laserkeilausaineistoista ja vertaaminen kuva-aineistoon

Vaihtoehdon 1 analyysi: Laserkeilauksesta on helppo laskea piirteitä, joista on puolestaan helppo laskea tilastollisia keskitunnuksia. Näiden korreloiminen esimerkiksi Random Forest-algoritmillä olemassa olevan referenssidatan kanssa tuottaisi nykyjärjestelmää vastaavan automaattisen järjestelmän. Ongelmana on laseraineistossa oleva luonnollinen vaihtelu ja järkevien piirteiden valinta.

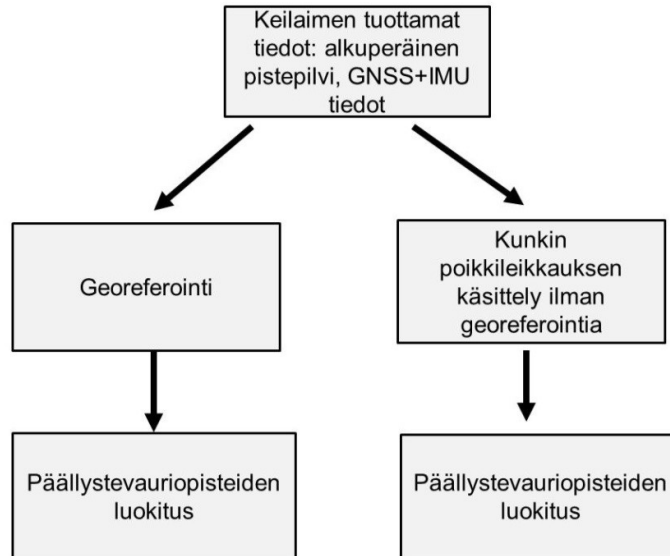
Vaihtoehdon 2 analyysi: Valokuva-analyysistä on helppo visuaalisesti päätellä vaurioiden luokitus. Valokuvauksen hetkellä valitettavasti päälystevauriot oli jo korjattu, joten vaurioiden luokitusta ei voitu tehdä. Analyysin etuna olisi se, että esimerkiksi vaihtoehdon 1 mukaisen menetelmän voisi kehittää huomattavasti LIVIn prosessissaan tuottamaa referenssiä tarkemmalla ja yksityiskohtaisemmalla opetusdatalla.

Vaihtoehdon 3 analyysi: Yksittäisten suuresta pinnasta poikkeavien pisteiden luokitus on laskennallisesti raskain, mutta täsmällisin ratkaisu. Menetelmän automatisointi on vaihtoehtoista kuitenkin vaikein.

Analyysi päätettiin toteuttaa vaihtoehdon 3 mukaisesti. Vaihtoehtoa 3 tutkittiin molemmissa koordinaatistoratkaisuissa, siis 3D ja 2D tapauksissa, Kuva 5. Ensimmäisessä vaihtoehdossa koko pistepilvi georeferoidaan maastokoordinaatistoon. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa pisteitä ei georeferoida lainkaan, vaan vauriopisteitä lasketaan erikseen kustakin profiilista, i. poikkileikkauksesta.

Poikkileikkauksratkaisu on luonnollinen valinta laskettaessa teiden uraisuutta ja toimiessaan sen käyttö nopeuttaisi ja helpottaisi uramittauksen ja vauriomittauksen yhdistämistä operatiivisessa toiminnassa. Georeferoidusta pistepilvestä voidaan vaurio toisaalta laskea helpommin, koska vauriot näkyvät kolmioverkosta paremmin kuin poikkileikkausprofiileista ja naapurusto voidaan ottaa intuitiivisesti huomioon laskennassa.

Molemmissa ratkaisuissa löydetty vauriopisteet voidaan yhdistää ja tulkita ja opettaa halutuiksi vaurioluokiksi. Molemmat ratkaisut tuottavat virhetulkintoja, jotka tulee suodattaa pois. Suodatus tapahtuu yksinkertaisesti etsimällä pisteitä, jotka ovat yksittäisiä ja sitä kautta poistettavia. Jäljellä jääneiden vauriopisteiden ryhmittymä kuvaa vaurioita.



Kuva 5: Päälystevauriopisteiden prosessointi georeferoituna 3D-pistepilvenä että 2D-profiilikoordinaatistossa.

Päälysteiden eri vauriotyypit, kuten halkeamat, purkaumat, painumat ja reiät, näkyvät laserkeilausaineistoissa kolmella eri syntymekanismilla:

- 1) Esimerkiksi halkeamat ja reiät näkyvät pintamallissa korkeudeltaan muuta ympäristöä matalampina pisteinä. Tällaiset *vauriopisteet* voidaan luokitella etäisyyspoikkeamina keskimääräisestä pinnasta, profiilista tai kolmioverkosta. Koska aineistoissa on etäisyysmittausten osalta hajontaa ja esimerkiksi halkeamien etäisyyspoikkeama on pieni, on yksittäisten pisteiden tulkinta epävarmaa ja ne tuleekin poistaa suodattamalla. Laskemalla luokiteltujen vauriopistekandidaattien etäisyydet toisiinsa voidaan poistaa virheellisesti vauriopisteiksi luokiteltuja pisteitä.
- 2) Vauriopisteiden intensiteetti on usein normaalia tienpintaa matalampi. Sen vuoksi *vauriopisteet* voidaan luokitella intensiteettipoikkeamina keskimääräisestä intensiteettipinnasta, -profiilista tai -kolmioverkosta. Yksittäisiä intensiteettipoikkeamia tulee poistaa suodattamalla.
- 3) Usein halkeamat, purkaumat, painumat ja reiät eivät aiheuta lainkaan kaikua laseretäisyysmittaukseen, koska esimerkiksi halkeama saattaa alla veden täyttämä, kostea tai maa-aineksen täyttämä, tai kohteen ja laserkeilaimen välinen geometria estää kolon tai halkeaman pohjan mittaamisen. Käyttämällä 1,55 μm aallonpituudella toimivaa keilainta veden peittämistä, arvio yli 5 mm, pinnoista ei saada lainkaan paluukaikua, ohuen vesikalvon ei todettu haittaavan mittausta käytetyillä mittausetäisyyksillä. Laserkeilauspistepilvessä voikin siten olla reikä halkeaman, purkauman, painuman ja reiän kohdalla. Myös tällainen kohta tulee pystyä luokittelemaan *vauriopisteeksi pistepilvessä*.

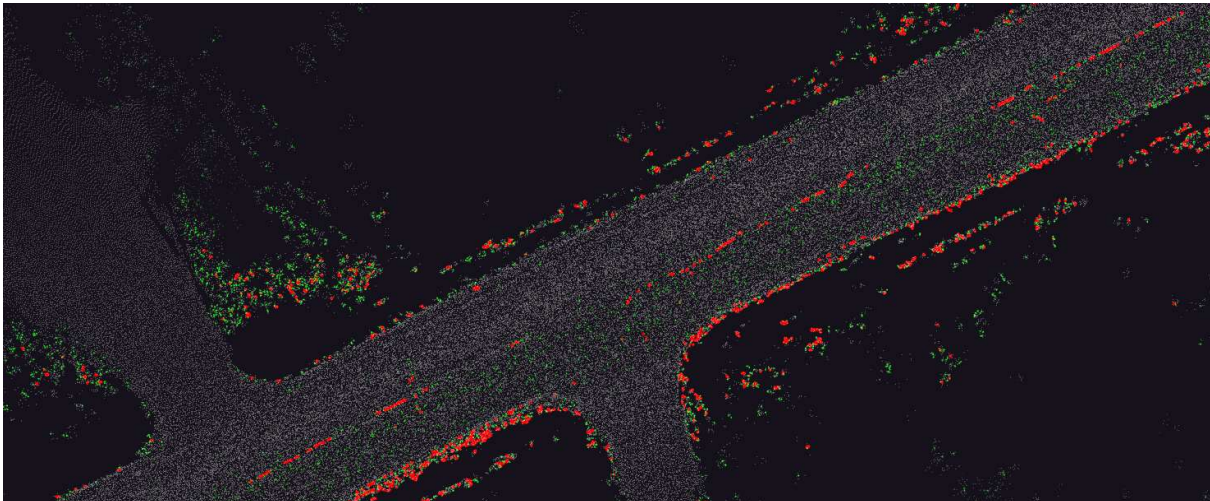
Luvussa 5 on esitetty havainnollisesti näitä kolmea eri mekanismia analysoiden erikseen 3D georeferoituja pistepilviä ja 2D-poikkileikkauksia käyttäen näihin tapauksiin kehitettyjä työkaluja.

5. Tulokset

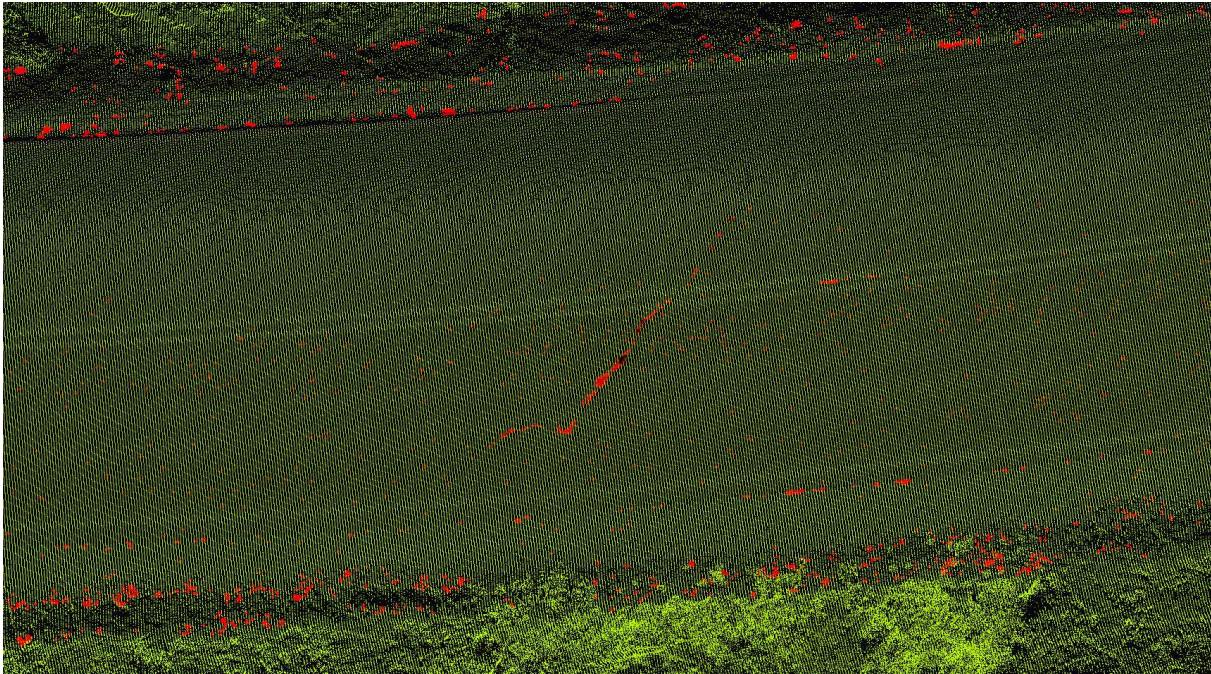
5.1 Vaurioiden irrotus 3D-pistepilvestä

Halkeamien havaitsemiseksi kehitettiin menetelmä, jossa ensimmäisessä vaiheessa lasketaan mittauksista kolmiulotteinen pistepilvi, joka suodatetaan siten, että etsitään päällysteen keskimääräisesti tasaiset alueet. Tähän käytetään kolmiointiin perustuvaa algoritmia, joka saa parametreikseen suurimman sallitun poikkeaman kolmiopinnan tasosta sekä suurin sallittu pinnan kaltevuus. Seuraavaksi voidaan, koska oletamus on että halkeamista mitatut pisteet ovat muuta tienpintaa alempana, etsiä pisteitä jotka ovat lähellä irrotettua tienpintaa sen alapuolella. Tässä vaiheessa huomioidaan mittalaitteen ja tienpinnan karkeuden tuottama luonnollinen vaihtelu. Sensorin luontaisesta mittaushajonnasta johtuen tässä etsitään ensin pisteitä, jotka ovat 10-50 mm tienpinnan alapuolella.

Luokittelu voidaan ajaa eräajona siten, että kukin 60 sekunnin datablokki prosessoidaan erikseen. Kuvassa 6 on esitetty luokitteluprosessin tulos, jossa suurin sallittu pinnan kaltevuus on asetettu 10 asteeseen. Menetelmä erottaa melko hyvin tiealueen koko aineistosta, lähinnä jäljelle jää ylimääräisenä tasaisia alueita liittymissä ja tien pientareilla. Tiealue voidaan toki rajata myös käyttäen vaikkapa tien keskilinjavektoria, tai mittalaitteen trajektoria, sekä reunaviivan automaattista irrotusta tai etäisyysbufferointia. Kuvassa 7 esitetään esimerkki yli 10 mm syvästä halkeamatyyppisestä vaurioista, jossa on myös reikä. Kuvasta näkyy hyvin myös koko pistepilviaineiston yksityiskohtaisuus.



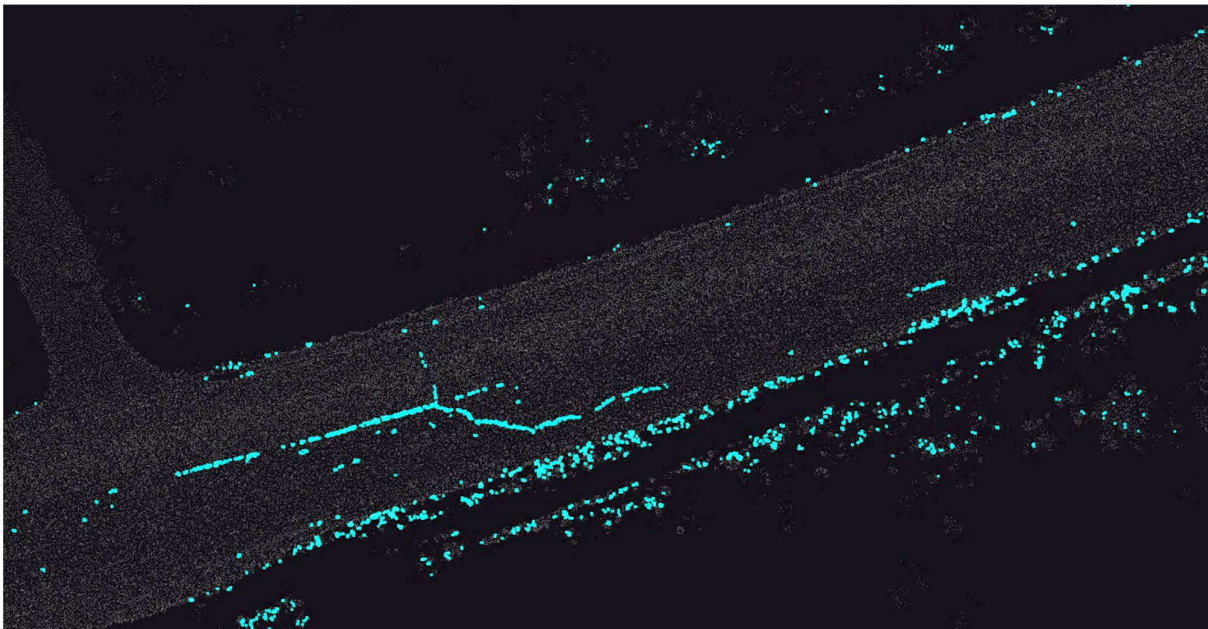
Kuva 6. Luokittelutulos. Harmaalla tasaiset tienpintapisteet, punaisella pisteet jotka ovat 10-50 mm tienpintapisteistön alapuolella. Vihreällä on esitetty poistetut yksittäiset kohinaiset virrehavainnot.



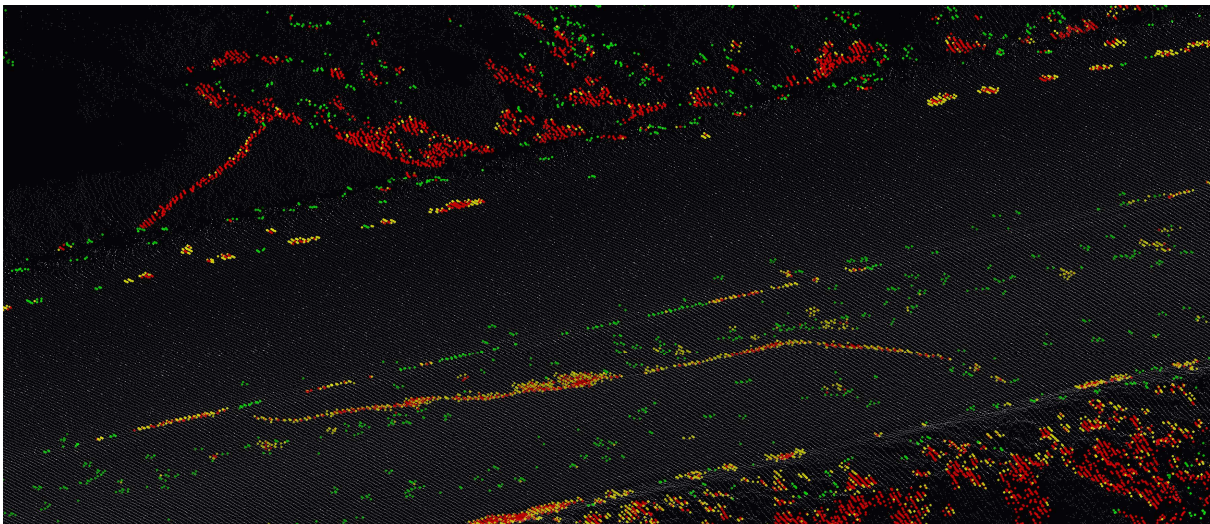
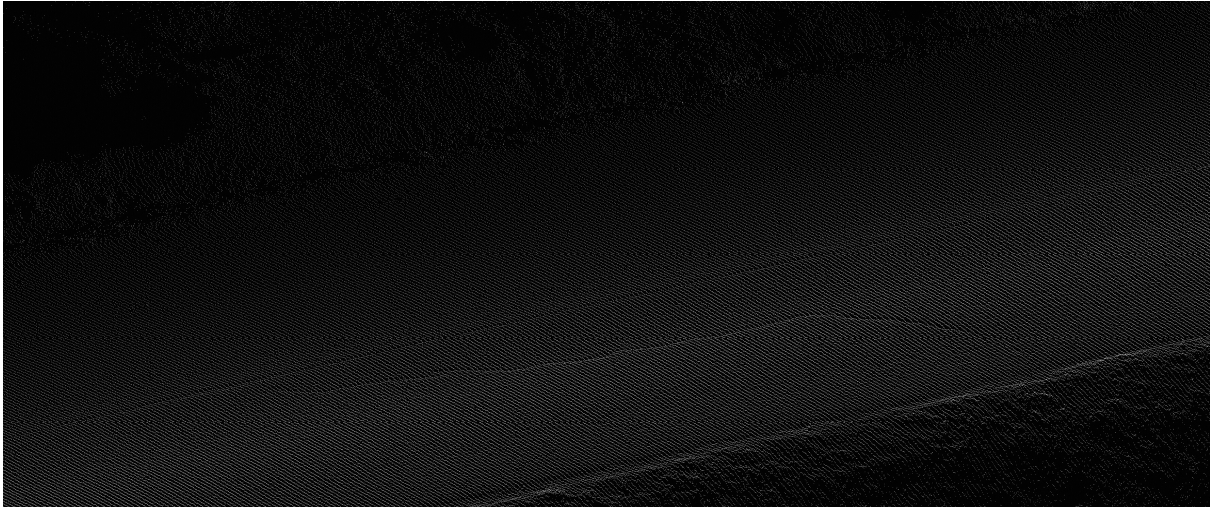
Kuva 7. Poikittaishalkeama ja reikä (punaiset pisteet ja alueet). Koko pistepilvineisto esitetty vihreällä intensiteettisävytettynä.

5.2 Matalien vaurioiden havaitseminen 3D-pistepilvestä

Matalampien halkeamin etsimiseen toteutettiin luokittelu, jossa etsittiin pisteitä, jotka ovat lähellä aiemmin havaittuja syviä halkeamia tai kuoppia (Kuva 8). Tässä vaiheessa etsitään myös pisteitä 7-9 mm pinnan alapuolelta. Näin löydettyjen pistekandidaattien yhdistäminen toisiinsa vaatii vielä menetelmäkehitystä. Testeissä havaittiin, että erityisesti verkkohalkeaminen, mutta myös matalien halkeamien, havaitseminen toimii paremmin käytettäessä laajempaa naapurustoa, kuten 30 tai 40 cm kolmiokokoa.



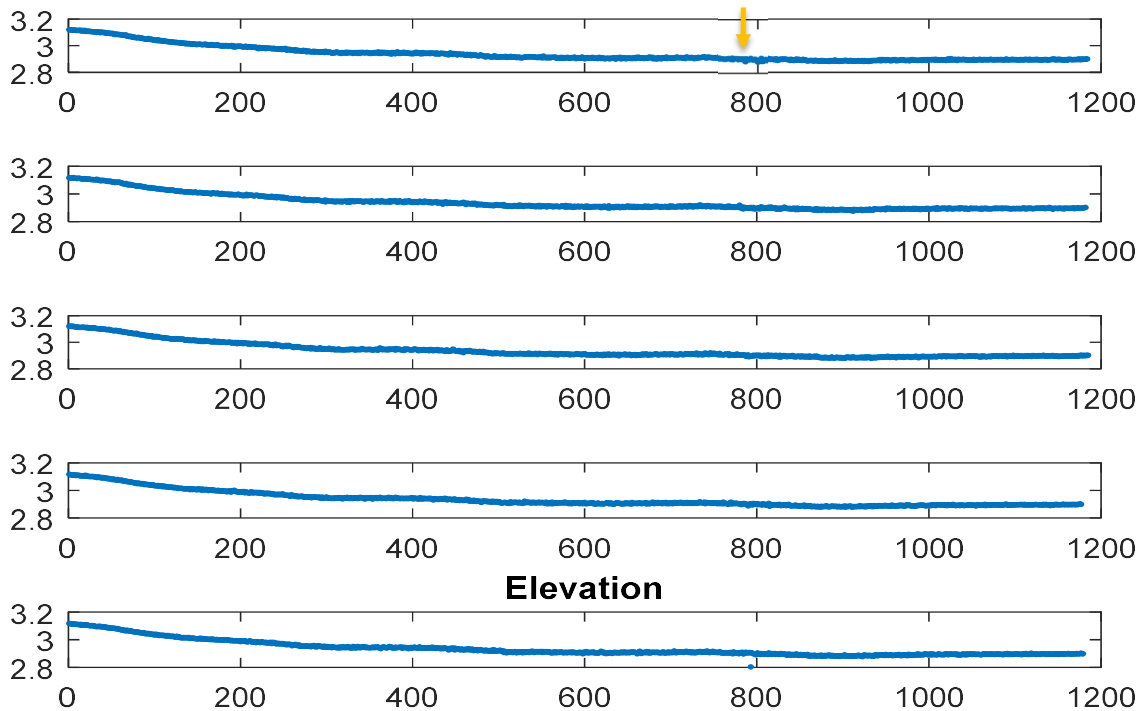
Kuva 8. Irrotettuja matalien halkeamien kandidaatteja.



Kuva 9. Suuremmalla kolmiokolla havaitut vauriot päällysteessä. Yllä: Pistepilvikuva. Alla: Viivamaisia halkeamia ja painumatyyppinen vaurio (punainen ja keltainen), sekä pienempiä vaurioklustereita (vihreä). Kaltevuuskulman kasvattaminen tuottaa havaintoja myös pientareilta, jotka on kuitenkin helppo rajata pois analyysistä.

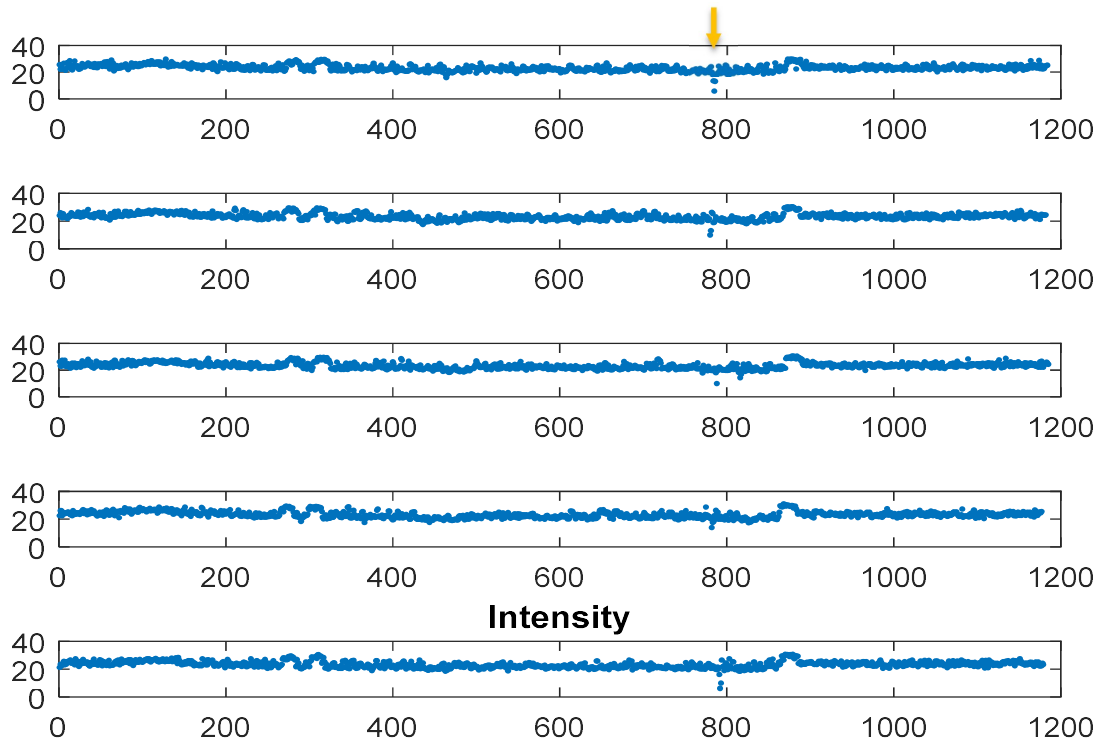
5.3 Vaurioiden etsiminen profiileista keilainkoordinaatistossa

Kuvissa 10-14 on esitetty päällystevaurioiden etsimistä poikkiprofiileista keilainkoordinaatistossa (tien poikkileikkauksista). Kuvassa 10 on esitetty viiden peräkkäisen tieprofiilin korkeus keilainkoordinaatiston mukaisesti. Yksittäisessä profiilissa on tiealueelta mitattuna hieman alle 1200 laseretäisyysmittausta. Hieman ennen 800. etäisyysmittausta, keltainen nuoli, on tiessä reikä, joka näkyy parhaiten alimmasta profiilista. Kuvasta nähdään, että vaihtelu vierekkäisten pisteiden välillä ja pienet korkeuserot asfaltin pinnassa on vaikea erottaa toisistaan

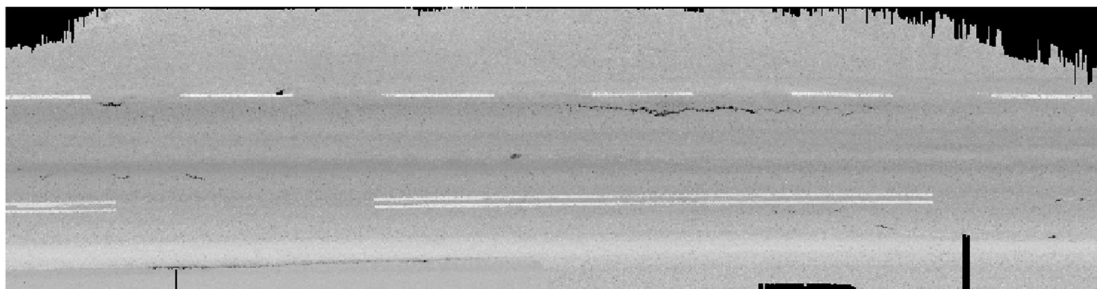
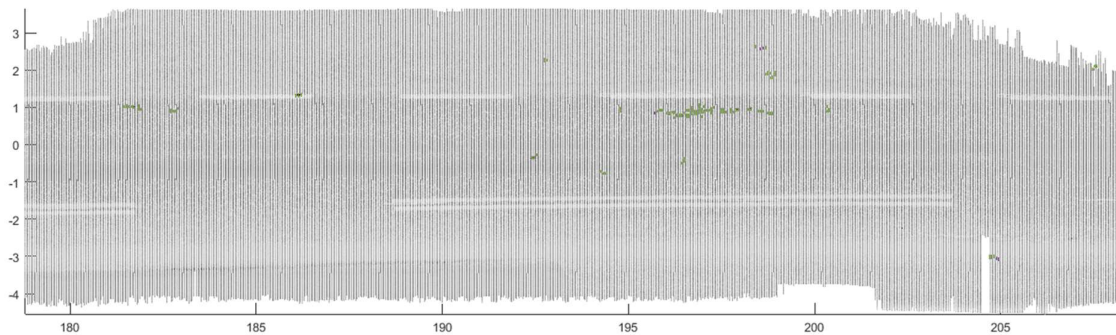


Kuva 10. Kuvassa on esitetty viiden poikkiprofiilin korkeus. Mittauksessa on tuotettu tieltä hieman vaille 1200 laseretäisyysmittausta. Hieman ennen 800. etäisyysmittausta on tiessä reikä, joka näkyy parhaiten alimmasta profiilista. Kuvasta nähdään, että vaihtelu vierekkäisten pisteiden välillä ja pienet korkeuserot asfaltin pinnassa on hankala erottaa poikkiprofiilikoordinaatistossa.

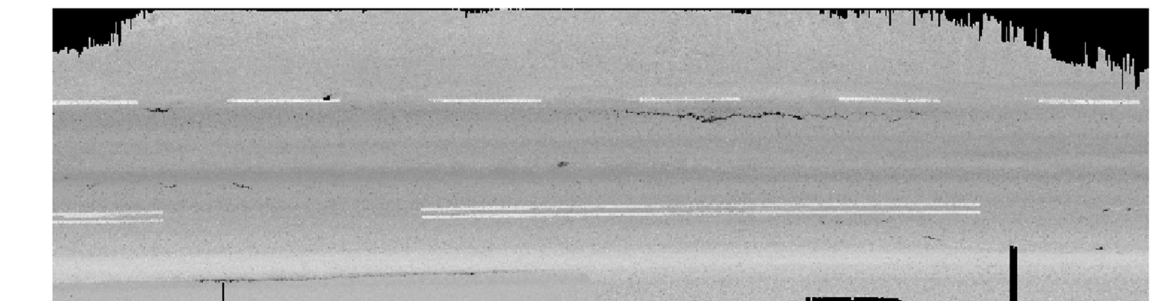
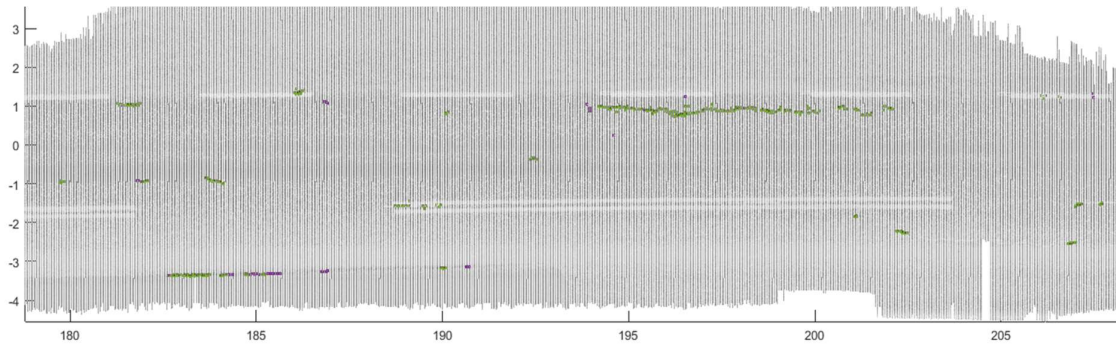
Kuvassa 11 on esitetty viiden peräkkäisen profiilin intensiteettisignaali. Yhdessä profiilissa on tiealueelta mitattu hieman alle 1200 laseretäisyysmittausta. Hieman ennen 800. etäisyysmittausta on tiessä reikä, joka näkyy laserin paluusignaalin intensiteetin vaimenemisena. 300. mittauspisteen molemmin puolin ja ennen 900. mittauspistettä näkyy intensiteetin kirkastumat tiemaalauksen takia. Kuvasta nähdään, että intensiteetin vaihtelu on suurta ja siksi pienet vauriot asfaltin pinnassa on vaikea erottaa profiilikoordinaatistossa. Kuitenkin tässä tapauksessa on nähtävissä, että intensiteetti tuottaa selkeämmin erottuvan poikkeaman useammassa profiilissa kuin etäisyysmittaus.



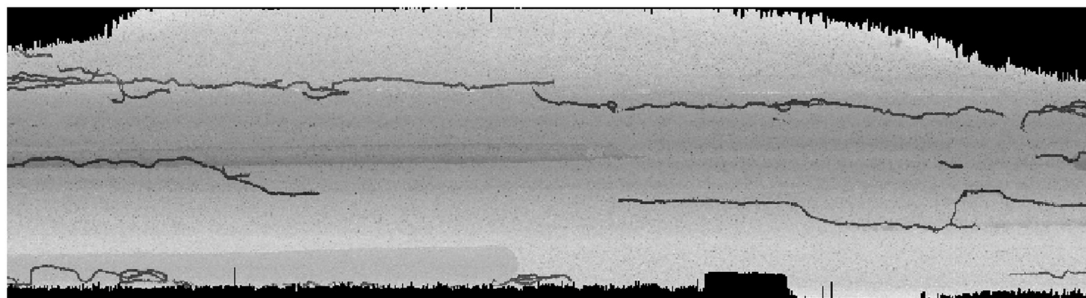
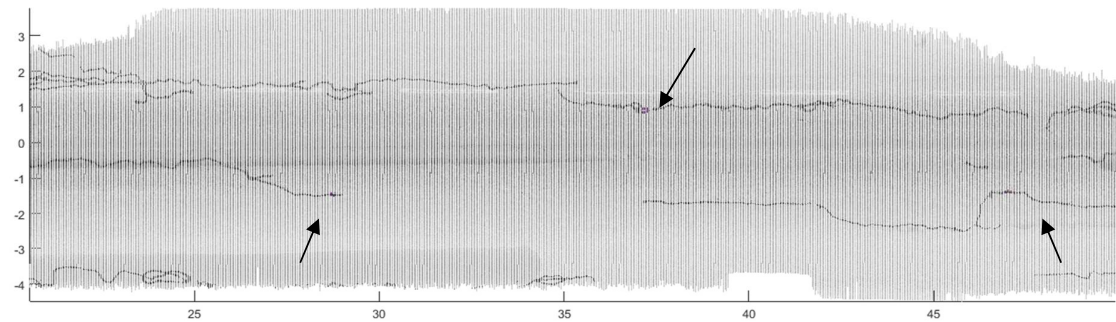
Kuva 11. Kuvassa on esitetty viiden poikkiprofiilin intensiteetti. Mittauksessa on tuotettu tieltä hieman alle 1200 laseretäisyysmittausta. Hieman ennen 800. etäisyysmittausta on tiessä reikä, joka näkyy intensiteetin tipahtamisena. 300. mittauspisteen molemmin puolin ja ennen 900. mittauspistettä näkyy intensiteetin kohoamat tiemaalauksen takia. Kuvasta nähdään, että intensiteetin vaihtelu on suurta ja siksi pienet vauriot asfaltin pinnassa on vaikea erottaa poikkiprofiilikoordinaatistossa.



Kuva 12. Kuvassa on esitetty korkeusaineistosta (ylhäällä) luokitellut vauriokohdat vuoden 2016 aineistoista. Alhaalla on intensiteettikuva vertailun vuoksi.



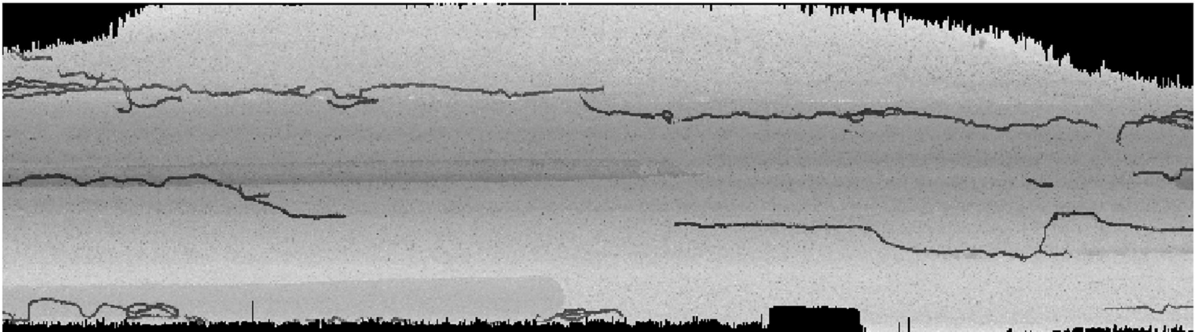
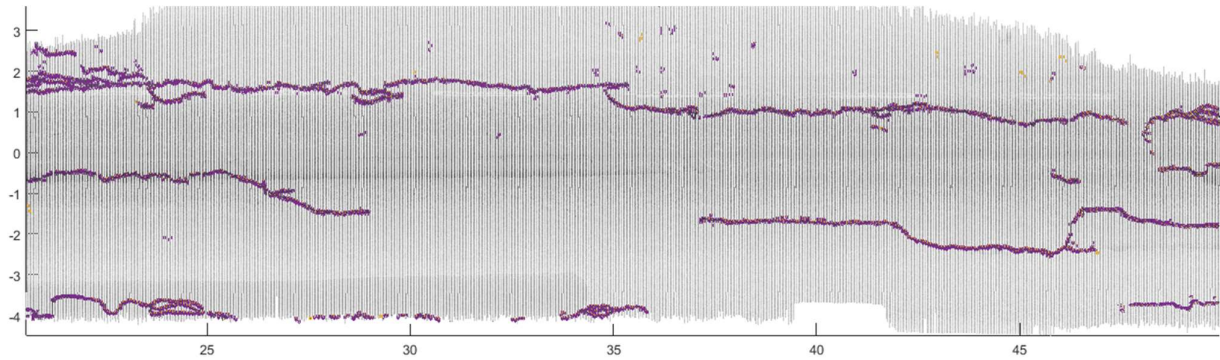
Kuva 13. Kuvassa on esitetty intensiteetistä (ylhäällä) luokitellut vauriokohdat vuoden 2016 aineistoista. Alhaalla on intensiteettikuva vertailun vuoksi. Poikkiprofiilikoordinaatistossa vuoden 2016 vauriot näkyivät paremmin intensiteettikuvissa kuin korkeusaineistoissa.



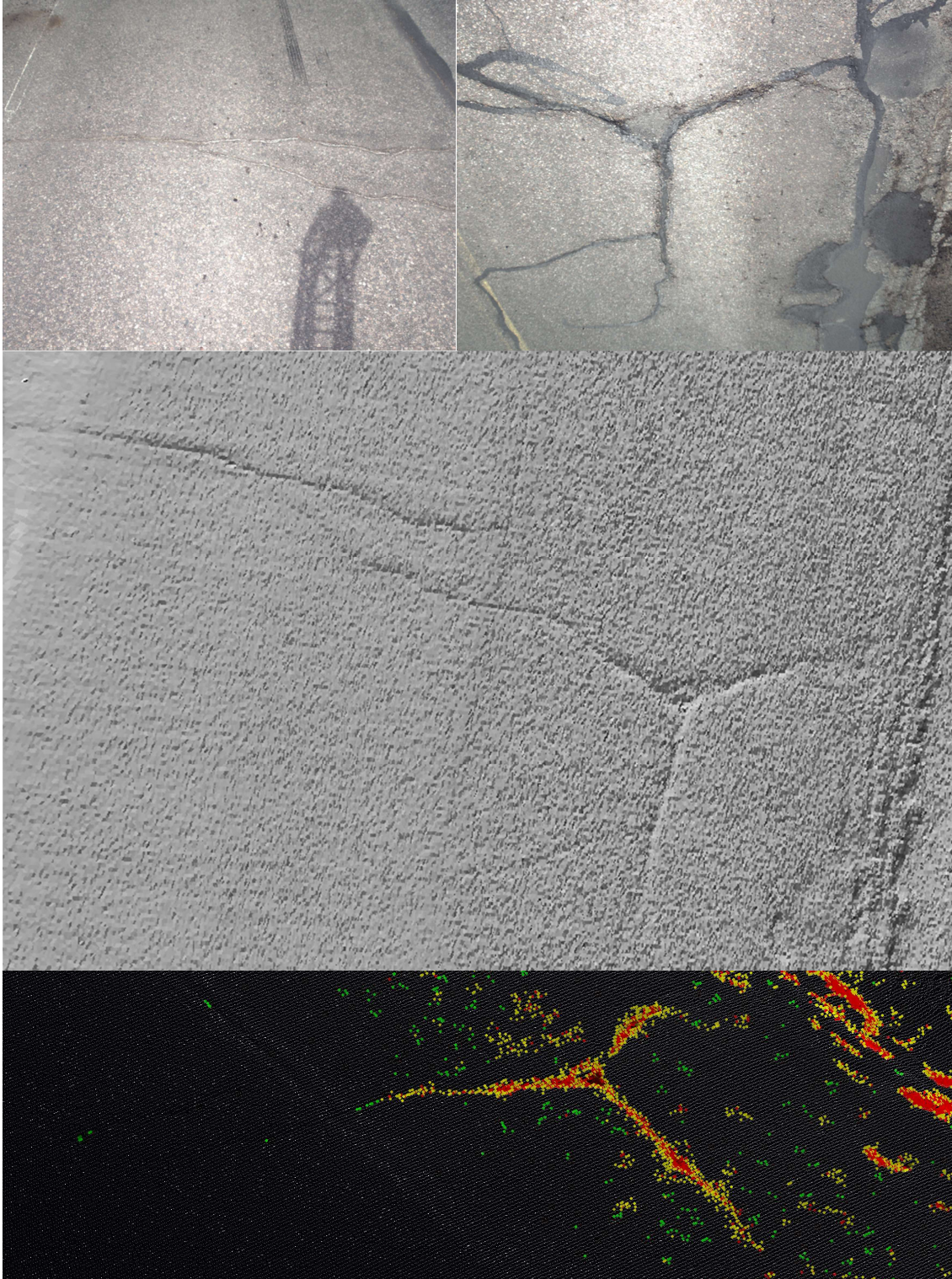
Kuva 14. Kuvassa on esitetty korkeusaineistosta (ylhäällä) luokitellut vauriokohdat vuoden 2017 aineistoista. Alhaalla on intensiteettikuva vertailun vuoksi. Kolmessa kohdassa on mahdollisesti syntynyt uusia vaurio heti korjaamisen jälkeen.



Kuva 15. Edellisessä kuvassa esitettyjen vauriolöytöjen valokuvat. Ensimmäisen kuvan kohdalla vauriota ei ole näkyvissä, todennäköisesti aineistosta havaittu korkeusero aiheuttaa tumman kohteen etäisyysmittausvirheestä. Kahdessa muussa tapauksessa vaurio on nähtävissä myös kuvilla.



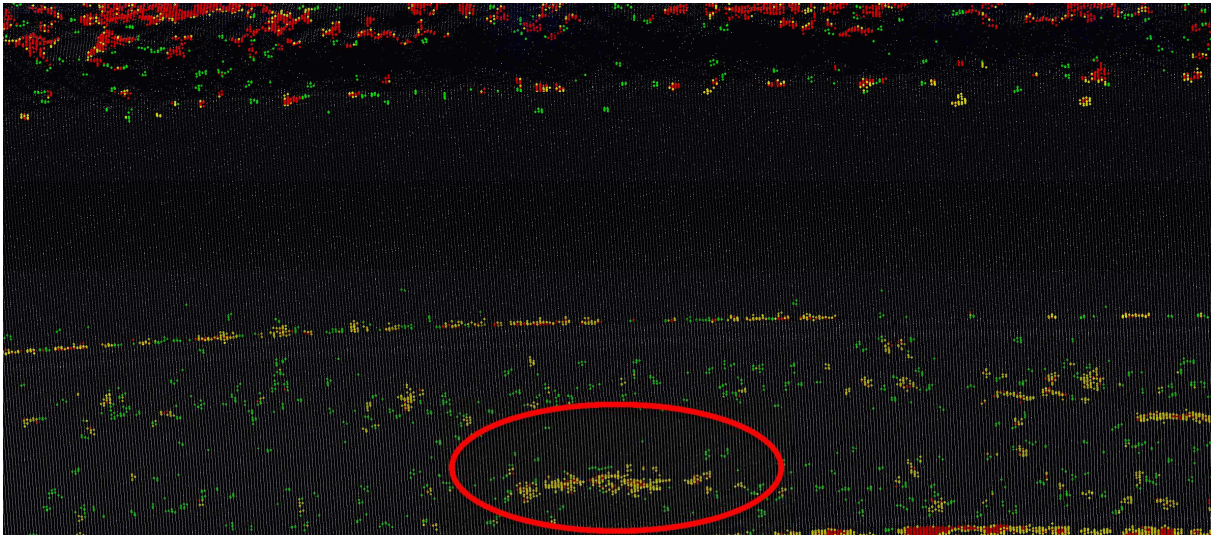
Kuva 16. Kuvassa on esitetty intensiteetistä (ylhäällä) luokitellut vauriokohtat vuoden 2017 aineistoista. Alhaalla on intensiteettikuva vertailun vuoksi.



Kuva 17. Pituus- ja poikkisuuntaiset halkeamat sekä rikkonainen päällystealue tien reunassa ovat havaittavissa rinnevarjostetusta pistepilviaineistosta.



Kuva 17. Painuma-alue murtumineen ja päällystesauma ovat tunnistettavissa rinnevarjostetusta pistepilviaineistosta (oikealla).



Kuva 18. Tunnistettu verkkohalkeama (sama kuin Kuvassa 17).

6. Johtopäätökset

Kokeilun tavoitteena oli tuottaa tietoa päällystevaurioista laserkeilauksen avulla. Tutkimuksessa tehtiin seuraavat johtopäätökset:

- 1) Vauriot näkyvät aineistoissa kolmella eri mekanismilla: 1) matalampi korkeusarvo, 2) matalampi intensiteetti, 3) reikä pistepilvessä/puuttuvia pisteitä profiilissa
- 2) 3D-koordinaatistoon georeferoidusta pistepilvestä voitiin tunnistaa vauriopisteet paremmin kuin poikkiprofiileista, koska ne perustuvat poikkeamiin kolmioverkosta kuin taas profiileissa vauriopisteet olivat poikkeamina profiilin tasosta. Vauriot voitiin tunnistaa vain tarkemmasta laserkeilausaineistosta luotettavasti.
- 3) Visuaalisella tarkastelulla havaittiin 90% tien vaurioista laserkeilausaineistoa käyttämällä kolmea em. virhemekanismia.

Tulkinta-algoritmien parametrit voi olla tarpeen asettaa erikseen meno- ja paluukaistoille (jos keilaus tehdään vain toiselta) erilaisen kynnyksarvon ja pistepilven hajonnan takia. Yritys toivoo kehittävänsä automaattisen tulkinta-algoritmin edellisten havaintojen pohjalta.

Mittausgeometria vaikuttaa vaurioiden havaittavuuteen. Tienpinnan korkeusvaihtelu ja lasersäteen kohtauskulma tuottavat ”varjoja”, jolloin ei saada mitattua pisteitä halkeamista. Tämä pätee erityisesti ajokaistan viereisellä kaistalla, jonka mittausgeometria on viistompi. Tätä informaatiota voidaan käyttää hyödyksi.

Profiilitaajuutta pienentämällä voidaan parantaa aineiston kulmaresoluutiota. Tarkempi kulmaresoluutio parantaa vaurioiden erottuvuutta viereisillä kaistoilla. Tällöin tosin ajosuuntainen profiiliväli kasvaa, ellei ajoneuvon nopeutta vastaavasti alenneta.

Mittaukseen käytetty laserteho näyttäisi vaikuttavan pistemittauksen luonnolliseen hajontaan. Tämän riippuvuuden selvittäminen rajattiin kuitenkin tämän koetyön ulkopuolelle. Myös mittausgeometria ja pinnan kulumisen ja siitä johtuva karkeus vaikuttavat yhdessä mitattuun hajontaan. Tästä syystä matalien, käytännössä yhden pisteen levyisten halkeamien, i. n. 8-9 mm leveä, havaitseminen on haastava, joskin niistäkin saadaan menetelmällä irroitettua suuri osa.

Visuaalisella tulkinnalla lähes kaikki vauriot ovat havaittavissa laserdatasta, tulkinta on kuitenkin hidasta. Laajojen painumien/verkkohalkeaminen löytyminen toimii paremmin isommalla kolmiokoolla.

Menetelmällä havaitut vauriotyypit:

- Halkeamat
- Reiät
- Verkkohalkeamat/painumat
- Kulmaurat (voidaan ajaa samalla kertaa)

Jatkokehitys

Pisteluokittelutuloksen jalostaminen vaurioluokitteluksi ja korjauspäätökseksi vaatii määrittelytyötä. Työn pohjalta tehdään menetelmäkehitystä datapisteettömien alueiden käsittelyyn, vaurioiden luotettavaan havaitsemiseen hyödyntäen sekä intensiteetti- että painumahavaintoja, ja lisäksi vauriopisteiden klusterointiin, segmenttien yhdistämiseen ja analyysiin, esimerkiksi halkeamien leveyden ja suunnan laskemiseksi, sekä vauriopaikkojen esittämiseksi PVK:ta vastaavalla, intuitiivisella tavalla.

Solid Potato Oy
Verkkokuja 7 A
02230 Espoo
Finland
info@solidpotato.com
+358503498108