

TIIVISTELMÄRAPORTTI (SUMMARY REPORT)

Hyperspektrilidarin käyttö kohteen tunnistukseen

Mika Karjalainen, Geodeettinen laitos, Geodeetinrinne 2, 02430 Masala
Sanna Kaasalainen, Geodeettinen laitos
Olli Nevalainen, Geodeettinen laitos
Eetu Puttonen, Geodeettinen laitos
Teemu Hakala, Geodeettinen laitos

Tiivistelmä Projektissa kehitettiin Geodeettisen laitoksen uutta monikanavaista laserkeilainta ja selvitettiin sen soveltumista eri materiaalien tunnistamiseen ympäristöstään puolustusvoimien näkökulmasta. Lisäksi tutkimuksessa kehitettiin tunnistamisessa käytettäviä automaattisia menetelmiä. Aluksi tutkimusta tehtiin laboratorio-olosuhteissa materiaalien spektriominaisuuksien selvittämiseksi, minkä jälkeen kohteita mitattiin luonnollisia taustoja vasten erilaisissa olosuhteissa.

Tulosten perusteella esimerkkimateriaalit ovat erotettavissa luonnontaustasta hyperspektrilidarilla mitatun spektrin perusteella. Esimerkkimateriaalien erottuminen oli selvintä lähi-infrapun aallonpituuksilla (yli 780 nm). Kohteiden tunnistamista edistää se, että laserkeilaindatan kolmiulotteisuus auttaa rajaamaan kohteiden kolmiulotteisen muodon, jolloin niiden kätkeminen luonnolliseen taustaan vaikeutuu huomattavasti.

Vaikka lähi-infrapuna-alueella mitatut materiaalit erottuvat selvästi luonnollisesta taustasta, materiaalin edessä olevat luonnonmateriaalikerrokset heikentävät havaintojen tarkkuutta. Tällöin suorien osumien määrä etsittävässä materiaaliin vähenee ja takaisinheijastuvien pulssien intensiteetti vaimenee nopeasti taustakohinan tasolle, ja lisäksi materiaalien rakenne ei ole yhtä hyvin mitattavissa.

Geodeettisella kehitetty laitteisto ja menetelmät ovat ainutlaatuisia maailmassa, mutta vaativat vielä jatkokehitystä. Ensimmäiset tulokset ovat lupaavia ja osoittavat teknologian käyttökelpoisuuden puolustusvoimien tarkoituksiin, erityisesti kohteentunnistukseen hankalissa olosuhteissa, pimeässä tai kun kohde on peitetty luonnonmateriaaleilla.

1. Johdanto

Superjatkumolaser (ns. 'valkoinen laser') on uusi teknologia, joka mahdollistaa aktiiviset monikanavaiset mittaukset. Superjatkumolasereita ei tähän mennessä ole hyödynnetty kaukokartoituksessa, mutta tulevaisuudessa niihin perustuvat aktiiviset mittauskonseptit tulevat yleistymään. Mittaus tapahtuu lähettämällä suuritehoinen superjatkumolaserin pulssi mitattavaan kohteeseen. Kohteesta sironnut valo erotellaan eri väreihin (yleisimmin aallonpituuskomponentteihin), joiden kirkkaus mitataan. Pulssin lentoajasta ja mitattujen värien kirkkaudesta muodostetaan hyperspektraalinen kolmiulotteinen pistepilvi, jossa jokaista pistepilven pistettä vastaa monikanavainen spektri (nyt 8 kanavaa), joka ulottuu optiselta alueelta lähi-infrapunaan. Tähän mennessä monikanavaisia pistepilviä on voitu tuottaa ainoastaan datafuusiolla, yhdistämällä esim. spektrikameralla (passiivinen menetelmä) mitattua monikanavadataa liikkuvalla tai stationäärisellä laserkeilauksella tuotettuihin pistepilviin. Tällaiset menetelmät ovat työläisiä ja riippuvaisia valaistuksesta. Monikanavaisella laserkeilauksella saadaan sekä spektri- että pistepilvidata yhdellä mittauksella samasta laitteesta ilman ulkoisia valaisurajoitteita.

Aktiivista hyperspektrikuvausta ja sen soveltuvuutta sotilastarkoituksiin on tutkittu aikaisemmin esim. miinojen (ja muiden muovi- ja metalliesineiden) tunnistuksen yhteydessä

(Johnson et al., 1999, http://spie.org/x648.html?product_id=357002). Kohteiden löytäminen ja tunnistus perustuu näissä spektri-informaatioon, kuten reflektanssiin, fluoresenssiominaisuuksiin tai polarisaatioon. Tässä hakemuksessa esitetyllä uudella monikanavaisella laserkeilauksella saadaan kohteesta lisäksi 3D-malli, jonka pisteisiin nämä spektri-indeksit liittyvät. Näin kohteentunnistus nopeutuu ja menetelmän automatisointi on tehokkaampaa, erityisesti kenttäolosuhteissa, joissa kohteiden geometria voi olla monimutkaista ja vaikeasti hallittavissa.

Geodeettisen laitoksen (GL) Kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osaston ActiveSensing-tutkimusryhmässä on kehitetty ensimmäisenä maailmassa aaltomuodon tallentava hyperspektrilidar (lisätietoa osoitteessa www.fgi.fi/activesensing). 8-kanavaisen hyperspektrilaserkeilaimen prototyyppi saatiin valmiiksi operatiiviseen käyttöön syksyllä 2011 (ks. Hakala et al., 2012, <http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?URI=oe-20-7-7119>). Ensimmäiset tulokset liittyvät kasvillisuusnäytteiden mittauksiin. Niistä on pystytty demonstroimaan laitteen käyttöä metsän tutkimukseen liittyvissä sovelluksissa, kuten kasvillisuus- ja vesikonsentraatioindeksien kolmiulotteisen jakauman määrittäminen kohteen (esim. puun) sisällä. Tämän lisäksi tulokset osoittavat, että laite soveltuu hyvin kohteen tunnistukseen: 3D pistepilvi yhdistettynä joka pisteestä saatavaan spektritietoon mahdollistaa tehokkaamman kohteen tunnistuksen, kuin tähän asti on ollut mahdollista monokromaattisilla (yhden aallonpituuden) laserkeilaimilla tai passiivisella kuvaavalla spektroskopiolla. Koska mittaustapa on aktiivinen, laitetta pystytään käyttämään myös puutteellisessa valaistuksessa (kuten yöllä).

Hyperspektrilidar soveltuu hyvin naamioidun kaluston erottamiseen esim. kasvuston seasta, koska 3-ulotteiseen pistepilvidataan voidaan yhdistää spektri-indeksejä, kuten klorofylli-indeksejä tai kosteusindeksi, joiden avulla epäorgaaniset kohteet voidaan erottaa kasvustosta. Monipuolinen spektri-indeksien käyttö tehostaa kohteiden havaitsemista: esim. kosteusindeksin avulla voidaan erottaa elolliset kohteet naamiomateriaaleista sellaisessa tapauksessa, jossa naamioituja materiaaleja on mukautettu esim. klorofylliä vastaaviksi. Tutkimuksessa on tarkoitus mitata erilaisia naamiomateriaaleja, kuten naamiomaaleja ja -verkkoja ja vertailla näiden tunnistettavuutta.

Useissa tapauksissa lidarin lähettämä laserpulsssi ei osu ainoastaan yhteen kohteeseen, vaan osuu matkallaan esimerkiksi puun neulasiin. Tässä tapauksessa tavallinen lidar tunnistaa ainoastaan ensimmäisen kohteen, jolloin puun takana oleva kohde jää havaitsematta. Täyden aaltomuodon lidar pystyy mittaamaan yhdestä pulssista useampia kohteita eri etäisyyksiltä, ollen näin tehokkaampi peitteisessä ympäristössä. Koska aktiivinen LiDAR mittaus ei ole riippuvainen auringonvalosta varjoihin piilotettujen kohteiden havaitseminen ei häiriinny. Mittauksesta voisi täten olla mahdollista myös irrottaa puhtaasti esim. valoa hieman läpäisevän naamioverkon taakse kätkeyn kohteen spektri.

2. Tutkimuksen tavoite ja suunnitelma

Tutkimushankkeen tarkoituksena oli jatkokehittää GL:n hyperspektrilidaria puolustusvoimien tarpeisiin. Kuinka ja millaisissa olosuhteissa hyperspektrilidaria voidaan käyttää kohteiden tunnistamiseen tilannekuvan luomiseksi ja toisaalta minkälaisen uhkan teknologia aiheuttaa omien kohteiden suojalle tiedustelulta tai maalinosoitukselta? Tavoitteena oli selvittää hyperspektrilidar-teknologian suorituskyky sotilaallisissa tehtävissä ja keskeisimmät osatavoitteet olivat:

1. Testata uutta monikanavaista laserkeilainta naamiomateriaalien ja naamioitujen kohteiden tunnistamiseen ja niiden erottamiseen mm. luonnonkohteista erilaisissa ympäristöissä.

2. Tuottaa uutta tietoa ja menetelmiä hyperspektrilidarin käyttöön erilaisten kohteiden tunnistuksessa sekä datan automaattiseen tulkintaan ja näihin tarvittavaa algoritmikehitystä.
3. Selvittää hyperspektrilidarin suorituskykyä pitkillä matkoilla.

Tutkimussuunnitelma oli jaettu 3 päätavoitteeseen (työpakettiin).

Työpaketti 1: laboratoriomittaukset

- Luonnonkohteiden ja naamiomateriaalien laserkeilaukset hyperspektrilidarilla GL:n laboratoriossa, datan käsittely ja analyysi, spektrikanavien optimointi kohdetunnistusta varten, laitteen valmistelu ulkokäyttöön

Työpaketti 2: kenttämittaukset

- Kenttämittaukset, kantaman pidentämisen koetyöt, datan käsittely

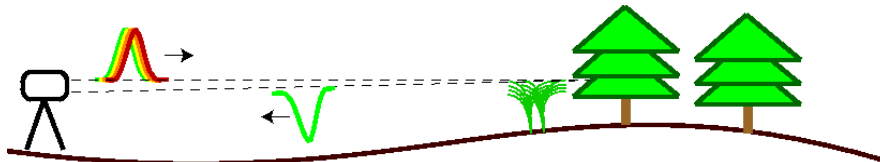
Työpaketti 3: tulosten analyysi

- Kenttädatan käsittely ja analyysi GL:ssa, automaattisen tunnistusmenetelmän kehitys, yhteenveto laitteen käytettävyydestä ja eri materiaalien näkyvyydestä eri olosuhteissa, tutkimusseminaari, tiivistelmä- ja loppuraportointi sekä julkaisun kirjoittaminen

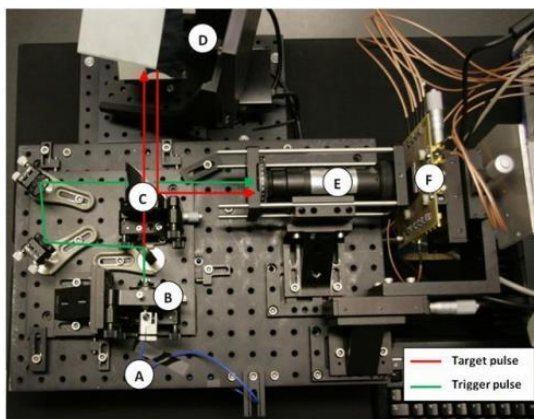
3. Aineisto ja menetelmät

3.1 Hyperspektrilidar (HSL)

HSL on superjatkumolaseria hyödyntävä laserkeilain. Mittaus tapahtuu lähettämällä suuritehoinen superjatkumolaserin pulssi mitattavaan kohteeseen. Kohteesta siroonnut valo erotellaan eri väreihin, joiden kirkkaus mitataan (Kuva 1). Pulssin lentoajasta ja mitattujen värien kirkkaudesta muodostetaan hyperspektraalinen pistepilvi, jossa jokaista pistepilven pistettä vastaa 8-kanavainen spektri, joka ulottuu optiselta alueelta lähi-infrapunaan. Laitteen toimintaperiaate on esitetty tarkemmin kuvassa 2.



Kuva 1. HSL -instrumentti lähettää kohteeseen superjatkumolaserpulsseja, joiden aallonpituus on jakautunut välille 400–2200 nm. Kohteesta siroonnut valo erotellaan eri aallonpituuskomponentteihin (mm. näkyvät värit), joiden kirkkaus mitataan.



Kuva 2. Hyperspektrilidar ja sen toimintaperiaate: Laserpulssit lähetetään fotonikidekuitua (A) pitkin peilikollimaattoorin (B), jolla laserpulssisyydensuuntaistetaan. Tämän jälkeen pulssi jaetaan trigger- ja target-pulsseiksi. Trigger-pulssi ohjataan spektrografiin (E)

ja siitä yhä APD-moduuliin (F) (avalanche photodiode). Trigger-pulssin havainnosta saadaan lähteneen laserpulssin lähtöaika ja intensiteetti. Target-pulssi jatkaa matkaansa paraboloidipeiliin (off-axis parabolic mirror) (C) ja skannaukseen käytettyjen peilien (D) läpi mittaushoiteeseen. Palaava target-pulssi ohjataan spektrografiin ja APD-moduuliin, jolloin saadaan mitattua myös palaavan pulssin saapumisaika ja takaisinheijastunut reflektanssi.

Mittausetäisyys

Laitteen optimaalinen mittausetäisyys on noin 4–6 m. Nykyisellä laitteella on tähän mennessä tehty mittauksia luonnonkohteista maksimissaan noin 20 m etäisyydeltä, mutta laitteen mittausetäisyyttä pystyttäneen kasvattamaan optiikkaa säätämällä.

Spektrikanavat

Instrumentilla pystytään mittaamaan samanaikaisesti kahdeksalla kanavalla, jotka voidaan valita 17 kanavan joukosta. Kanavien aallonpituudet ja resoluutiot ovat kalibrointikohtaisia. Kalibrointi suoritetaan aina kun instrumentin kanavien aallonpituuksia vaihdetaan.

3.2 Spektrometri

Kohteista tehtiin laboratoriossa HSL:n lisäksi referenssimittauksia passiivisella spektrometrillä. Mittaukset tehtiin ASD FieldSpec Pro FR -spektrometrillä (Analytical Spectral Devices, Inc., Boulder CO, USA). Instrumentti mittaa aallonpituusalueella 350–2500nm.

3.3 Mittauskohteet

PVTT:ltä saatiin lainaan viisi erilaista näytettä Puolustusvoimien naamiointimateriaaleista, sekä yksi metallinen monivärikenttälevy. Kaikkia näytteitä mitattiin, sekä hyperspektrilidarilla ja passiivisella spektrometrillä. Tässä tiivistelmäraportissa on esitelty raportin laajuuden puitteissa vain oleelliset mittauks tulokset tietyistä näytteistä.

3.4 Mittausten kuvaus

Laboriomiittausten kuvaus

Laboriomiittauksissa tutkittiin hyperspektrilidarilla kuuden erilaisen naamiomateriaalin heijastusominaisuuksia ja niiden muuttumista kuivan ja kastellun naamiomateriaalin välillä, naamiomateriaalien erottumista luonnonkohteista, sekä hyperspektrilidarin kykyä läpäistä naamiomateriaalit ja saada tietoa naamioiduista kohteista.

Mittaukset suoritettiin Geodeettisella laitoksella, Kirkkonummella, sisätiloissa. Tila on mitauskäytössä oleva suljettu tila, jonka ikkunat voidaan peittää mittausten ajaksi. Näytteet mitattiin sekä hyperspektrilidarilla että spektrometrillä.

Näytteiden kasteleminen ja läpäisykyky

Kaikki kohteet mitattiin kuivina ja kasteltuina. Lisäksi osan kohteiden läpäisykykyä testattiin asettamalla kohteen taakse noin 0,5 m etäisyydelle tasainen metallinen maalilevy yhdeksällä värikentällä (Näyte 6). Läpäisykykymittaus suoritettiin kuiville sekä kastelluille näytteille. Läpäisykykymittauksia ei tehty näytteille 1 ja 6, joiden rakenne ei mahdollista laserin läpäisyä.

3.5 Analyysimenetelmät

Spektrien vertailu

Näytteiden erottumista luonnonkohteista tutkittiin vertailemalla näytteiden spektrejä erilaisten luonnonkohteiden spektreihin. Spektrejä vertaamalla pystytään havaitsemaan,

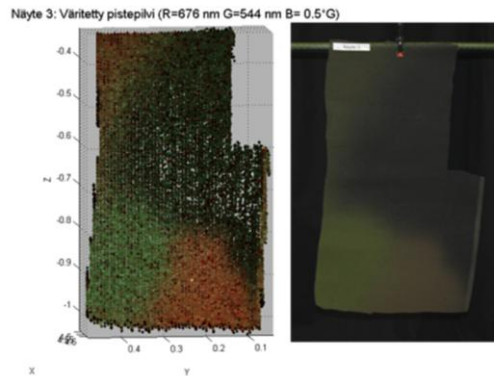
millä aallonpituusalueilla kohteiden spektrit eroavat toisistaan. Kohteiden erottumisessa voitaisiin myös hyödyntää kohteiden 3D-tietoa, kuten muotoa ja kokoa, mutta tässä tutkimuksessa on keskitytty lähinnä tutkimaan kohteiden erottumista HSL-instrumentin tuottaman spektritiedon avulla.

4. Tulokset ja pohdinta

Seuraavassa on esitelty yhteenveto projektin tärkeimmistä tutkimustuloksista.

HSL-pistepilvi

Kuva 3 on esitetty esimerkkinä hyperspektraalinen pistepilvi yhdestä tutkimuksessa käytetystä näytteestä. Kuvasta on havaittavissa, että hyperspektraalisella laserkeilauksella kohteesta pystytään muodostamaan kolmiulotteinen pistepilvi, josta voidaan erottaa kohteiden eri osia spektritiedon avulla.

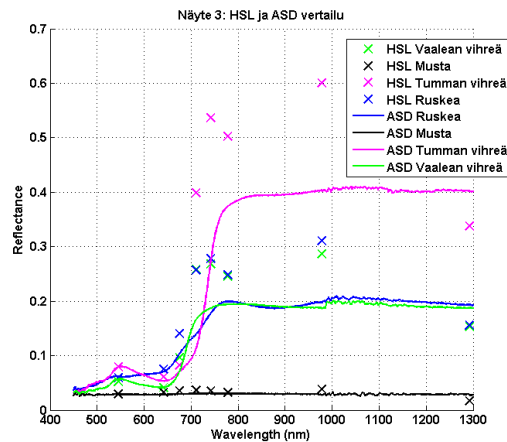


Kuva 3. HSL-pistepilvi (vasen) ja valokuva (oikea) näytteestä 3.

HSL-spektritiedon vertailu passiiviseen spektrometrimittaukseen

Tutkimuksen kohteet tutkittiin myös passiivisella spektrometrillä, jolla pystytään saamaan tarkka spektritieto mittauskohdeesta. Spektrometrimittauksilla haluttiin mitata kohteiden spektrien tarkat piirteet ja tutkia pystytäänkö samat asiat havaitsemaan myös HSL-mittauksilla.

Kuva 4 voidaan nähdä, että HSL:lla mitatun spektrin muoto vastaa hyvin spektrometrillä mittausta. Selkeämmät eroavuudet on nähtävissä lähi-infrapuna-alueella (780 nm ->), jossa HSL:n mitaama reflektanssi vaikuttaisi voimakkaammalta. Tähän vaikuttaa paljolti mittausten erilainen mittausero ja instrumenttien erilainen mittaustapa (aktiivinen-passiivinen). Spektrometrimittauksissa näyte oli asetettu mustan mattapintaisen kankaan päälle, jolloin osa näytteeseen heijastetusta valosta absorboituu taustakankaaseen heikentäen reflektanssia.

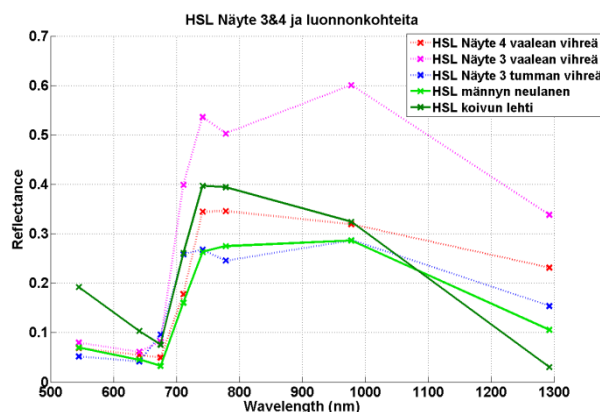


Kuva 4. HSL- ja spektrometrimittausten vertailu näytteen kolme spektrivasteesta. Spektrometrin mittaama spektri on esitetty viivana ja hyperspektrikeilaimen mittaamat aallonpituuskomponentit ristein.

Kohteiden erottuminen luonnonkohteista HSL-mittauksilla

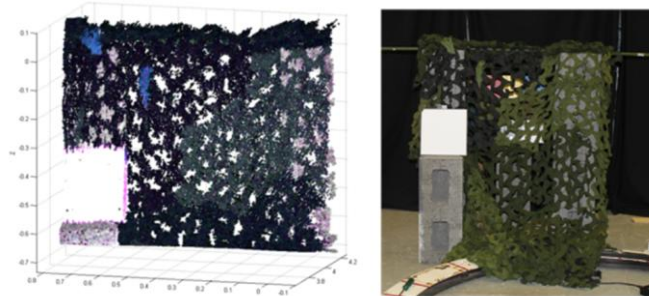
Tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena oli tutkia, että pystytäänkö hyperspektraalisella laserkeilauksella tunnistamaan epäorgaanisia materiaaleja, kuten naamioverkkoja, luonnonkohteista. Kuva 5 on esitetty hyperspektraalisesta pistepilvestä irrotettujen näytekappaleiden ja niiden eriväristen alueiden spektrejä, sekä HSL-mittauksilla mitatut männyn ja koi-vun lehden spektrit.

HSL-instrumentin 1300 nm mittaava kanava on vielä kehityksen alla ja se sisältää kohinaa, minkä takia sen mittaamaa reflektanssia pitää tulkita varauksella. Kuva 5 voidaan nähdä, että 1300 nm kanava mittaa kohteille huomattavan alhaisen reflektanssin, mikä ei luultavasti ole todenmukainen reflektanssin arvo kyseisille kohteille kyseisellä aallonpituusalueella.



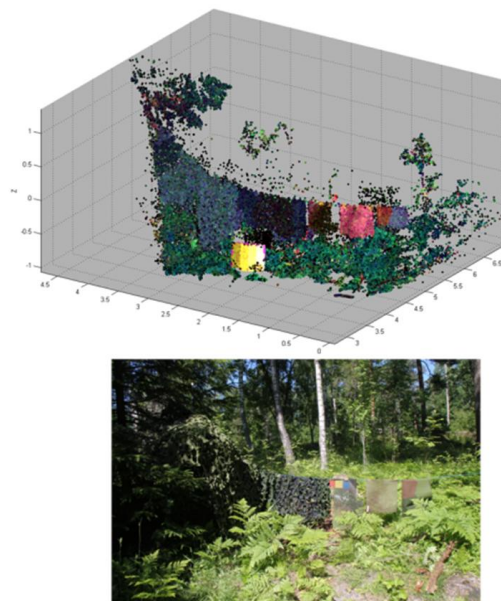
Kuva 5. Näytteiden ja luonnonkohteiden HSL-spektrejä

Luonnonkohteiden erotettavuus on nähtävillä myös esimerkkikuvissa 6, 7 ja 8. Kuva 6 on nähtävillä valokuva ja hyperspektraalinen pistepilvi näytteestä 2, johon kiinnitetty myös kaksi vihreätä männyn versoa. Kuvasta voidaan huomata, että männyn versot erottuvat spektriominaisuuksiltaan naamioverkosta helposti, johtuen erityisesti erilaisesta reflektanssista lähi-infrapuna-alueella. Kuvassa esitetystä pistepilvestä on poistettu naamioverkon takaa heijastuneet pisteet.

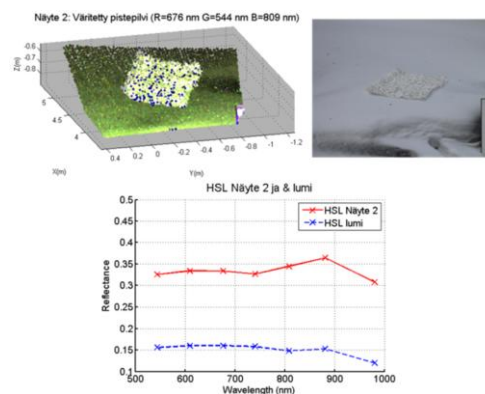


Kuva 6. Näyte 4:n HSL-pistepilvi ja valokuva. Naamioverkkoon on ripustettu kaksi männyn versoa, jotka erottuvat hyvin sinisellä hyperspektraalisesta pistepilvestä verrattuna valokuvaan.

Kuva 7 on hyperspektraalinen pistepilvi ja valokuva ulkona suoritetusta mittauksesta, jossa useampi näyte ripustettiin kasvillisuuden sekaan. Värityksellä pistepilvi pisteiden spektritiedon avulla pystytään helposti havaitsemaan eri naamioverkot maastosta. Lopuksi Kuva 8 on esitetty, kuinka näyte 2 eroaa lumesta.



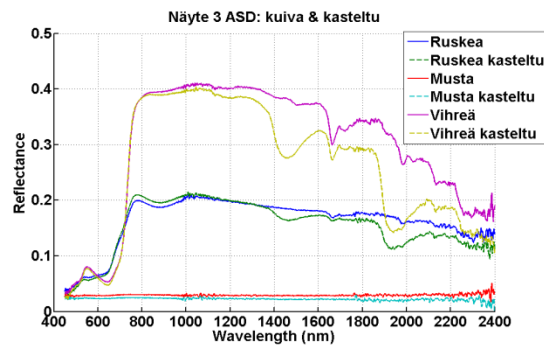
Kuva 7. HSL-pistepilvi ja valokuva ulkona suoritetusta mittauksesta. Valkoinen ja keltainen neliö hyperspektripistepilvessä on mittauksessa käytetty referenssilevy.



Kuva 8. Näyte 2:n erottuminen lumesta.

Kastelun vaikutus kohteiden spektreihin

ASD-mittauksilla huomattiin, että näytemateriaalien kastelulla oli selvää vaikutusta näytteiden spektreihin vain yli 1400 nm aallonpituusalueilla. Kasteltu kohde erottuu selvästi yli 1400 nm aallonpituusalueilla, joilla vesi absorboi voimakkaasti säteilyä. Nämä alueet ovat kuitenkin HSL-instrumentin kanavien aallonpituusalueiden ulkopuolella, joten näytteiden kastelua ei voitu nykyisellä laitteistolla selkeästi havaita HSL-mittauksilla.



Kuva 9 Kastelun vaikutus näyte 3:n spektriin.

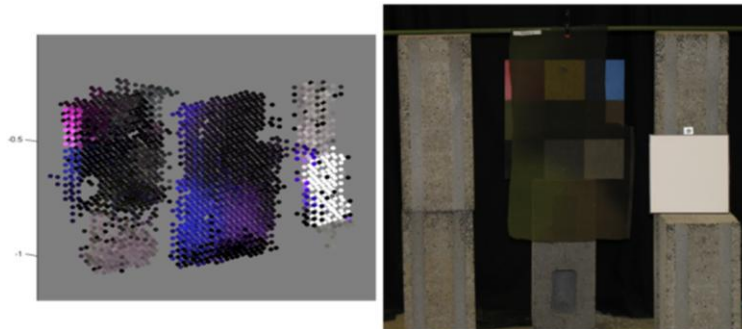
Läpäisykyky

Projektissa tutkittiin myös, kuinka hyvin hyperspektraalisella laserkeilauksella pystytään saamaan tietoa naamioiduista kohteista. Tämä riippuu täysin siitä, kuinka hyvin HSL-instrumentin laserpulssit läpäisevät naamiomateriaalit. Läpäisykykyä testattiin laittamalla naamioverkkojen taakse metallinen monivärikenttälevy ja tutkimalla, kuinka hyvin sitä pystyttiin mittaamaan HSL-instrumentilla.

Mittausten perusteella on selvää, että läpäisykykyyn vaikuttaa eniten naamioverkon reikien koko ja laserpulssin koko. Sisätilamittauksissa etäisyys mittauskohteeseen oli noin viisi metriä, jolloin laserspotin koko on noin 4 mm.

Tutkimuksessa käytetty HSL-instrumentti on koko aaltomuodon tallentava laserkeilain, jolloin mittauskohteesta voidaan saada useampi takaisinheijastuma. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka osa laserpulssista osuukin naamioverkkoon, niin osa siitä saattaa läpäistä naamioverkon antaa mittaustietoa myös naamioverkon takaa. Tästä esimerkkinä on Kuva 10, jossa näytteen 3 takana olevasta metallilevystä on saatu tietoa. Laserpulssin läpäistessä näyteverkon palaavan laserpulssin vahvuus heikkenee ja täten spektritiedon tulkittavuus vaikeutuu.

Mittausetäisyyden kasvaessa laserpulssin poikkileikkauspinta-ala (engl. footprint) kasvaa, jolloin laserpulssit läpäisevät naamioverkon heikommin. Samoin käy, kun naamioverkko on kallistunut, jolloin naamioverkon reikien koko mittaussuunnassa pienenee ja laserpulssien läpäisykyky heikentyy.



Kuva 10. HSL-mittauksen läpäisykyvyn testaaminen näytteelle 3. Kuvan pistepilvi on jaettu ja keskiarvoistettu kuutioituihin tilaelementteihin (vokseli) visuaalisen esityksen selkeyttämiseksi.

Mittausetäisyys ja sen kasvattaminen

HSL-instrumentin mittausetäisyys on nykyisellään noin 20 metriä. Pidempi kantama on mahdollista saavuttaa laitteistoon tehtävillä muutoksilla, joiden tekemiseen valmistauduttiin kesällä 2013 tehdyillä hankinnoilla. Hankinnat mahdollistavat optomekaanisen rakenteen tarkemman hienosäädön, joka on tarpeen pidempien etäisyyksien saavuttamiseksi. Laitteen säätö pidemmille mittausetäisyyksille kuitenkin vaikeuttaa lähietäisyydeltä tehtäviä mittauksia. Koska kaikki kesän 2013 mittaukset oli välttämätöntä tai mahdollista suorittaa lähietäisyydeltä, niin katsottiin parhaaksi pitää instrumentti säädettynä lähietäisyyden mittauksiin. Tällä vältettiin instrumentin turha säätäminen mittausten välillä, mikä paransi eri aikoina mitattujen tulosten vertailtavuutta.

5. Loppupäätelmät

”Hyperspektrilidarin käyttö kohteen tunnistuksessa”-tutkimuksessa selvitettiin monikanavaisen laserkeilaimen soveltumista kohdemateriaalien erottamiseen taustasta sekä erotuksessa käytettävien menetelmien kehittämistä. Kokeet toteutettiin kahdessa vaiheessa, ensin Geodeettisen Laitoksen tiloissa kohteiden spektriominaisuuksien selvittämiseksi ja sitten erilaisia luonnollisia taustoja vasten.

Projektin tulokset näyttävät suoraan, kuinka testatut esimerkkikohteet ovat erotettavissa taustastaan spektrinsä perusteella käytettäessä hyperspektraalia laserkeilausdataa. Kohteiden erottuminen oli selvintä infrapunaa aallonpituuksilla (yli 780 nm). Tavalliseen hyperspektraalikuvantamiseen verrattaessa laserkeilaukseen perustuva kohdetunnistuksena etuina ovat mm. parempi kyky havaita varjossa sijaitsevia kohteita, koska keilaus tapahtuu aktiivisesti. Lisäksi laserkeilaindatan kolmiulotteisuus auttaa rajaamaan kohteiden kolmiulotteisen muodon, jolloin niiden kätkeyminen luonnolliseen taustaan vaikeutuu huomattavasti.

Projekti oli jaettu kolmeen työpakettiin, joille oli määritelty oma aihealueensa ja jotka muodostivat yhdessä selkeän kokonaisuuden hyperlaserlidarin toiminnallisuuden selvittämiseen: ensimmäisessä paketissa toteutettiin kohteiden ja verrokkikohteiden *laboratoriomittaukset*, toisessa paketissa kohteet mitattiin *luonnollisessa ympäristössä*. Kolmannen pakettiin kuuluivat tuloksista raportointi sekä laitteiston ja mittaushälytysten käytettävyyssarviot. Projektin työpaketit toteutuivat suunnitellusti hyperspektrilidarin kantamallisäystä lukuun ottamatta mittausten onnistuneen läpiviennin ja mittaustulosten keskinäisen vertailtavuuden varmistamiseksi. Kantamanpidennyksen toteutusta varten tehtiin kuitenkin toimintasuunnitelma ja tarvittavat komponenttihankinnat, jotka mahdollistavat

laitteiston vaatimien muutosten toteuttamisen heti mittauskauden päätyttyä.

Projektin tulosten pohjalta hyperspektrilidarin soveltuvuudesta kohdetunnistuksessa voidaan todeta, että laitteisto kykenee luotettavaan kohdetunnistukseen annettujen kohdemateriaalien osalta käytetyllä aallonpituusalueella (500 – 1100 nm). Laitteiston jatkok kehitys vastaavia kokeita varten on, että laitteisto kykenisi pidemmän kantaman mittauksiin, mikä on toteutettavissa suhteellisen vähin toimenpitein. Muita mittauskelpoisuutta yleisesti parantavia tekijöitä ovat kenttäkelpoisuuden parantaminen mm. liikuteltavuuden osalta. Lisäksi spektrihavaintojen ulottaminen aiempaa pidemmälle infrapuna-aallonpituuksille todennäköisesti tehostaisi kohdemateriaalien erottamista maastossa.

Kohdemateriaalien osalta todetaan, että niiden havainnointi onnistuu parhaimmin infrapunaa aallonpituuksilla, joilla ne erottuvat selvästi luonnollisesta taustasta. Havainnointi on kuitenkin heikompaa, mikäli materiaalin edessä yksi tai erityisesti useampia luonnonmateriaalikerroksia. Tällöin suorien osumien määrä materiaaliin vähenee ja takaisinheijastuvien pulssien intensiteetti vaimenee nopeasti taustakohinan tasolle. Lisäksi kohteiden edessä olevat luonnolliset materiaalit rikkovat selkeän pintarakenteen, jota voitaisiin hyödyntää sellaisenaan levitetyn kohteen havaitsemiseen.

6. Tutkimuksen tuottamat tieteelliset julkaisut ja muut mahdolliset raportit

Tutkimuksesta on tekeillä julkaisu, joka on tarkoitus lähettää kansainväliseen julkaisusarjaan. Muita aiheeseen liittyviä julkaisuja on myös tehty tänä vuonna, esim. Olli Nevalaisen artikkeli typen mittauksista Laser Scanning 2013-kokouksessa.

Nevalainen, O., Hakala, T., Suomalainen, J., and Kaasalainen, S., 2013. Nitrogen concentration estimation with hyperspectral LiDAR, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-5/W2, 205-210. www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W2/205/2013/

7. Hankkeen seuraajan lausunto raportista

Lausunto: Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, Asetekniikan osasto, Tutkija Tomi Parviainen.

Tutkimuksessa selvitettiin ensimmäistä kertaa hyperspektrilidarin käyttöä naamiomateriaalien tunnistamiseen. Ajatuksena oli, että luonnon kohteet voidaan erottaa keinoitekoisista naamiomateriaaleista hyperspektrilidarilla ja muutamien aallonpituuskaistojen spektrometrillä. Tulosten mukaan tämä on mahdollista ja kehittyessään hyperspektrilidarit saattavat muodostaa uhkan naamiomateriaaleilla suojautuville joukoille, varsinkin talviaikaan. Myös kosteuden vaikutusta heijastuskertoimeen tutkittiin, vaikka mielenkiintoisimmat muutokset olivatkin spektrimittauskaistojen ulkopuolella.

Nyt käytetty laitteisto toimii parhaiten laboratoriomittauksissa. Puolustussovellukset vaativat mittausetäisyyden kasvattamista kilometriin tai kahteen. Tällöin esimerkiksi laiva- tai ajoneuvolavetiltä voitaisiin keilata metsänreunaa ja etsiä mahdollisesti naamioituneita tai piiloutuneita kohteita. Tulevaisuudessa (20 vuotta) pienikokoinen hyperspektrikeilain voitaneen asentaa lennokkiin, jolloin siitä tulee tiedustelu-uhka. Laserkeilaimen etuna kuvaaviin sensoreihin on se, että sillä voidaan toimia yöaikaan, mutta VIS - SWIR -hyperspektrikamerat vaativat auringon valoa toimiakseen.

Matine-seminaarissa 2013 MIKES esitteli jo pitkän kantaman (1500 m) hyperspektraalisen etämittausteknologian, joka tuottaa melko kohinatonta signaalia, mutta joka

toimii infrapuna-alueella ja jonka etäisyysresoluutio on karkeampi tai sitä ei hyödynnetä lainkaan. Jos MATINE päättää jatkossa rahoittaa hyperspektrisen lidarin tutkimusta, olisi syytä selvittää, kuinka nämä kaksi lähestymistapaa voitaisiin yhdistää. Pitkä kantama on edellytys kenttämittauksille, mutta datan kalibrointia ja kohteiden tunnistusta pitää kehittää samalla. Olisi suositeltavaa, että alan toimijat järjestäisivät yhteisen puolustussovelluksia käsittelevän ideointikokouksen, mikäli projektit saavat jatkorahoitusta. Näin voitaisiin saada synergiaetuja ja uusia avauksia.