

UAV:N AVULLA TUOTETUN FOTOGRAMMETRISEN PIS-
TEPILVEN VERTAILU JA KÄYTETTÄVYYS

lisak Helander

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittustekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka

Tekijä	lisak Helander	Vuosi	2015
Ohjaaja	Pasi Laurila		
Toimeksiantaja	Maailmasta Oy		
Työn nimi	UAV:n avulla tuotetun fotogrammetrisen pistepilviaineiston käytettävyys ja vertailu		
Sivu- ja liitemäärä	28 + 1		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia miehittämättömällä ilma-aluksella tuotetun fotogrammetrisen pistepilviaineiston käytettävyyttä ja vertailla sitä kahden eri tavoin tuotettuun laserkeilausaineistoon. Työn toimeksiantajana toimi Maailmasta Oy.

Opinnäytetyössä käydään läpi UAV-laitteiden historiaa sekä perehdytään niiden toimintaperiaatteisiin ja käyttömahdollisuuksiin. Lisäksi esitellään miehittämättömiä ilma-aluksia koskevaa lainsäädäntöä.

Fotogrammetrinen pistepilviaineisto tuotettiin UAV-kuvauksella Oulun Haukiputaalla. Vertailevina aineistoina käytettiin Maanmittauslaitoksen sekä Blom Kartan laserkeilausaineistoja. Näiden lisäksi kohdealueelta mitattiin myös vertailevia pisteverkkoja GPS-kartoituksella. Vertailu suoritettiin muodostamalla eri mittausmenetelmien tuottamista aineistoista maastomallit ja tekemällä niistä poikkileikkaukset.

Mittaustulokset osoittivat UAV-kuvauksella tuotetun fotogrammetrisen pistepilven olevan monilla vertailualueilla lähes yhtenäinen laserkeilausaineistojen kanssa. Ongelmia UAV-kuvaukselle tuottivat tiheät alueet sekä runsas aluskasvillisuus.

School of Technology,
Communication and Transport
Degree Programme of Land
Surveying

Author	lisak Helander	Year	2015
Supervisor	Pasi Laurila		
Commissioned by	Maailmasta OY		
Subject of thesis	Usability and Comparison of Photogrammetric Point Cloud Data Produced by Unmanned Aircraft.		
Number of pages	28 + 1		

The purpose of this Bachelor's thesis was to investigate the usability of photogrammetric point cloud data produced by an unmanned aircraft and to compare it to two differently produced laser scanning data. This thesis was commissioned by Maailmasta Oy

The photogrammetric point cloud data was produced using the UAV image processingn Haukipudas, Oulu. The target area was also surveyed by using GPS mapping to act as baseline for the point cloud data. The laser scanning data from the NLS and Blom Kartta were used as the comparative data.

The measurement results indicated that the photogrammetric point cloud data produced with the UAV device was an almost uniform with the data from NLS and Blom Kartta's laser scanning data in several areas. The dense areas and areas with rich undergrowth caused problems for the UAV mapping

Key words

photogrammetric, UAS, UAV

SISÄLLYS

ALKUSANAT	5
KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 UAV JA UAS	9
2.1 Historia	9
2.2 Toimintaperiaate	10
2.3 Käyttökohteet.....	12
2.4 Lainsäädäntö	13
3 MITTAUSTYÖT	15
3.1 Lentovalmistelut.....	15
3.1.1 Signaali	15
3.1.2 Lentosuunnitelma	17
3.1.3 Kuvaukko ja tarkoitus	18
3.2 UAV-kuvaukko.....	18
3.3 Kuvien prosessointi.....	19
3.4 Pisteiden luokittelu	20
3.5 Mittaustuote	21
4 TUOTETUN AINEISTON VERTAILU LASERKEILAUSAINESTOON	23
4.1 Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto	23
4.2 Blom Kartan laserkeilausaineisto	23
4.3 Mittausmenetelmien erot.....	23
4.4 Laskentatulosten erot	24
5 POHDINNAT	27
LÄHTEET	28

ALKUSANAT

Kiitokset Terra Solidille aineistojen muokkaamiseen käytetyistä ohjelmistoista, sekä Blom Kartalle vertailevan aineiston saamisesta. Kiitokset myös toimeksiantajalle Maailmasta Oy:lle joka mahdollisti opinnäytetyön tekemisen.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

GPS	Global positioning system. Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
IMU	Inertial Measurement Unit. Kiihtyvyyttä ja kallistusta mittaava laite, jota käytetään paikannuksen apuna.
UAS	Unmanned aircraft system. Miehitämättömän ilma-aluksen toiminnassa käytettävä järjestelmä, joka käsittää lentolaitteen lisäksi maa-aseman ja ohjausjärjestelmän.
UAV	Unmanned aerial vehicle. Ilmassa toimiva miehitämätön alus, joka lentää ennalta määrätyn reitin GPS-koordinaattien avulla tai jota ohjataan kauko-ohjaimella.

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Ilmakuvauksen stereomalli (Laurila 2014)	11
Kuvio 2. Lentolaitteen kiertymiskulmat	12
Kuvio 4. Signaali maastossa	16
Kuvio 5. Signaalipisteiden sijainnit kuvausalueella	17
Kuvio 6. Lentosuunnitelman kuvausjonot	17
Kuvio 7. Fotogrammetrinen pistepilvi	22
Kuvio 8. Pistepilvi kolmioituna	22
Kuvio 9. Poikkileikkaus ajouralta (Liite 1)	25
Kuvio 10. Poikkileikkaus soramontulta (Liite 1)	25
Kuvio 11. Poikkileikkaus tiheiköstä (Liite 1)	26
Kuvio 12. Poikkileikkaus alueelta pienimetsä (Liite 1)	26
Taulukko 1. Maanmittauslaitoksen käyttämät pisteluokat tässä työssä	20
Taulukko 2. Kuvauksen virheet signaalipisteillä	21

1 JOHDANTO

Nykypäivänä miehittämättömiä ilma-aluksia on muutaman sadan gramman painoisista harraste lennokeista tuhansien kilojen sotilaallisiin tarpeisiin tarkoitettuihin aluksiin. Yleisimmät UAV-laitteet (Unmanned aerial vehicle) ovat kiinteäsiipisiä lennokkeja tai pyöriväsiipisiä helikoptereita. Teknologian kehitys on mahdollistanut lennokkien räätälöimisen tiettyä tehtävää silmälläpitäen. UAV-laitteiden kehityksen ohella myös erilaiset kuvausinstrumentit ovat parantuneet ja pienentyneet, jolloin lennokeilla suoritettavat kuvausmahdollisuudet laajenevat.

Miehittämättömillä ilma-aluksilla tehtävät kartoituskuvaukset perustuvat pitkälti perinteiseen ilmakuvaukseen, jossa lentokoneella lennetään useita vierekkäisiä kuvausjonoja tietyillä kuvan pituus- ja sivupeittoarvolla. UAV-laite tallentaa kuvanottohetkellä sijaintinsa tiedot sekä kameran kallistuskulmat. Näiden tietojen avulla voidaan kuvista muodostaa ortokuva.

UAV-laitteiden myötä fotogrammetrinen mittausmenetelmä on lisääntynyt. Miehittämättömällä ilma-aluksella tuotettu fotogrammetrinen pistepilvi on edullinen ja nopea tapa saada tarkkaa ja ajankohtaista aineistoa kohdealueelta. Fotogrammetriset mittauslaitteet ovat huomattavasti laserkeilaimia edullisempia, mikä tekee niistä vartenotettavan haastajan laserkeilaukselle.

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli tutkia UAV-lennokilla tuotetun fotogrammetrisen pistepilven käytettävyyttä ja kykyä tuottaa tarkkaa tietoa maastosta. Aineiston käytettävyyttä pohdittiin vertailemalla työssä tuotettua pistepilvidataa maanmittauslaitoksen 2000 metristä- sekä Blom Kartan 450 metristä kuvattuihin laserkeilausdatoihin. Vertailussa tutkittiin mittausmenetelmien kykyä läpäistä eri tiheyksistä kasvillisuutta. Työhön liittyvä kartoituslento tehtiin Oulun Haukiputaalla ja työn toimeksiantajana toimi Maailmasta Oy.

2 UAV JA UAS

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) on ilmassa lentävä miehittämätön laite, joka autopilotin avulla lentää ennalta määrätyn reitin GPS-koordinaattien avulla. Laitetta voi ohjata myös radio-ohjaimen avulla maasta käsin. UAS (Unmanned Aerial System) nimitystä käytetään kun puhutaan koko järjestelmästä, joka käsittää maa-aseman, ohjausjärjestelmän sekä itse lentolaitteen. Nykyisin käytetään myös lyhenteitä RPA (Remotely Piloted Aircraft) ja RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems). (Hassinen 2013, 3.)

Alun perin UAS-järjestelmä luotiin valtioiden sotilaallisiin tarkoituksiin, mutta nykyisin niiden käyttö on levinnyt myös yritysten ja yksityisten käyttöön. Siviilikäyttöön suunniteltujen koneiden siipiväli on noin metrin luokkaa ja paino vaihtelee puolesta kilosta vajaaseen kymmeneen kiloon. Miehittämättömien ilma-alusten järjestelmä koostuu tyypillisesti kuvauksen suunnitteluohjelmistosta, kiinteä- tai pyöriväsiipisestä lennokista, sitä ohjaavasta autopilotista, maa-asemasta sekä kamerasta. UAV-laitteen koosta riippuen siinä voidaan käyttää muun muassa still-, video-, infrapuna-, väräväri-, hyperspektrikameraa tai SAR-tutkaa, magnetometria sekä nykyisin myös laserkeilaimia niiden entistä pienemmän kokonsa vuoksi. (Hassinen 2013, 3–5; Sippo 2013, 33–35; Orzea 2013.)

2.1 Historia

UAV-laitteiden historia ja kehitys pohjautuvat alun perin sotilaallisten tarpeiden täyttämiseksi. Niiden historia juontaa juurensa 1900-luvun alkupuolelle, jolloin jo ennen ensimmäistä maailmansotaa kehiteltiin prototyyppisiä lentokoneita, joita voitaisiin ohjata ilman pilottia. Ongelmia kehityksessä aiheutti automaattisen vakauksen, kauko-ohjauksen sekä itsenäisen navigaatiojärjestelmän yhdistäminen. Gyroskooppien kehityksen avulla pystyttiin vastaamaan automaattisen vakauksen ongelmiin, ja vuonna 1914 Ranskassa demonstroitiin gyroskoopeilla vakautettua lentoa. Ensimmäisiä kauko-ohjauksella toimivia miehittämättömiä lentokoneita käytettiin 1930-luvulla erityisesti maalitauluina ilmatorjuntaharjoituksissa. (Newcome, L. 2004. 1–4,139.)

Maailmansotien aikana miehittämättömien ilma-alusten kehitys oli tuottoisaa, mutta vasta kylmän sodan aikana teknologian kehitys sekä Yhdysvaltojen ja Neuvostoliiton varustekilpailu mahdollisti miehittämättömien ilma-alusten erittäin tarkan navigaatiojärjestelmän kehittymisen. Tätä järjestelmää käytettiin muun muassa mannertenvälisen ballististen ohjusten (ICBM, Intercontinental ballistic missile) navigointiin. Sotilaallisten tiedustelutarpeiden lisääntyessä myös UAV-laitteiden tarve kasvoi, jonka seurauksena Yhdysvallat käynnistivät useita UAV-tiedusteluhankkeita 1950-luvulla. Tästä seurasi miehittämättömien ilma-alusten nopea kehitys. (Newcome, L. 2004, 4–5.)

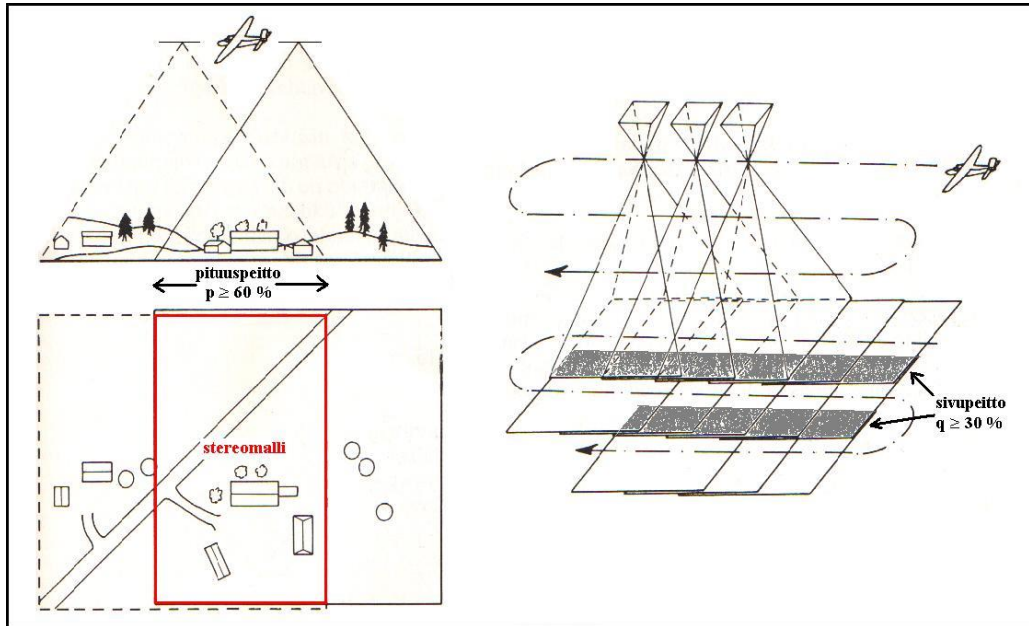
Teknologian kehittyminen viimeisten vuosikymmenten aikana on mahdollistanut UAV-laitteiden kehityksen niin sotilaallisella- kuin siviilipuolellakin. Nykyisin miehittämättömiä ilma-aluksia rakennetaan ja räätälöidään tiettyä tehtävää silmälläpitäen. Niitä on pienistä kevytrakenteisista koptereista ja kiinteäsiipisistä lennokeista raskasrakenteisiin tiedustelu- ja sotilaskäytön ilma-aluksiin. (Newcome, L. 2004; Sippo 2013, 35.)

2.2 Toimintaperiaate

UAV-kuvauksella tuotettu kartoituslento on täysin automaattinen ja sitä ohjaa etukäteen ohjelmoitu autopilotti. Kevyet kiinteäsiipiset lennokit voidaan lähettää kädestä heittämällä ja raskaammat lennokit katapultilla. Korkein sallittu lentokorkeus on 150 metriä, jolloin kuvapikselin koko maassa riippuu käytettävästä kamerasta ja linssistä. Laskeutuminen voi tapahtua joko automaattisesti tai manuaalisesti lähestymis- ja laskeutumishjelmiston avulla. (Sippo 2013, 33.)

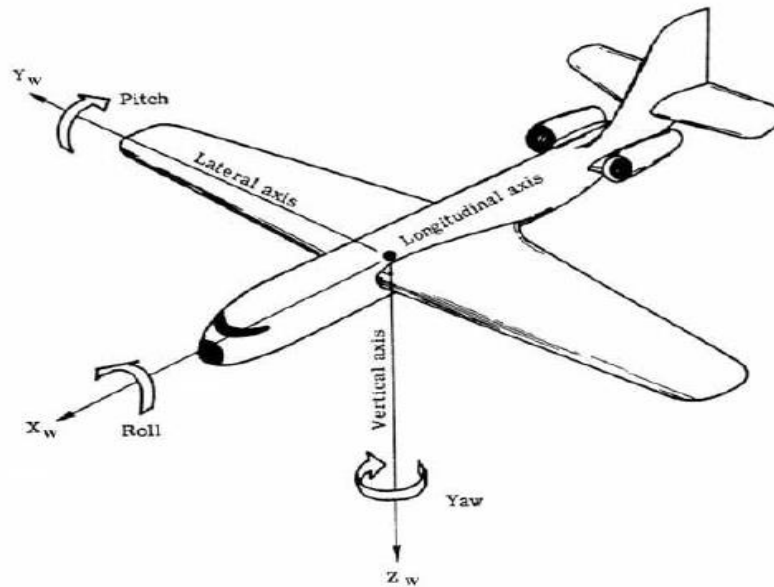
Kartoituslento noudattaa perinteisen fotogrammetrian periaatteita. Kone lentää kartoitusjonoja, jossa lennokin automatiikka ajastaa kuvien ottamisen tasaisin väliajoin määriteltyn pituus ja sivupeittojen mukaisesti. Jonojen kuvat peittävät toisiaan pituussuunnassa ja jonot vastaavasti peittävät toisiaan sivusuunnassa. Peittoprosentit jonon peräkkäisten kuvien osalta täytyy olla vähintään 60 prosenttia ja vierekkäisten jonojen sivupeitto vähintään 30 prosenttia (Kuvio 1). Mutta UAV-kuvauksissa käytetään yleisesti suurempia pituus- ja sivupeittoja, sillä suurien kuvapeittojen avulla saadaan aikaan vankka kuvablokki, jonka laskennassa

voidaan tehokkaasti kompensoida lennokin GPS- ja IMU-laitteistojen suorituskyvyn puutteita. (Maanmittauslaitos 2003, 24–25; Sippo 2013, 33.)



Kuvio 1. Ilmakuvauksen stereomalli (Laurila 2014)

Kuvan ottaessa lentoalus tallentaa kuvan lisäksi myös lennokin sijaintitiedot sekä kiertymiskulmat aluksen massakeskipisteeseen nähden (Kuvio 2). Sijainti- ja kiertymiskulmatietoja tarvitaan kuvien prosessoinnissa, kun yksittäisistä kuvista tehdään yhtenäinen ortokuva. Kuvaprosessointi tapahtuu nykyisin mahdollisimman automaattisesti, sillä lennokka lentää niin matalalla että yksittäinen kuva peittää vain pienen osan maa-alasta. Tällöin pienenkin alueen kartoittamiseen kuvia joudutaan ottamaan huomattavasti enemmän kuin korkeammalta kuvattaessa. Lennon kuvat prosessoidaan siihen soveltuvalla ohjelmistolla, jonka lopputuotteena saadaan geometrisesti laadukas ortokuvamosaiikki sekä yksityiskohtainen 3D-pintamalli. (Maanmittauslaitos 2003, 24–25; Sippo 2013, 33–35; Laurila. 2014.)



Kuvio 2. Lentolaitteen kiertymiskulmat

2.3 Käyttökohteet

UAV-lennokkien sovellusalueet ovat nykypäivänä todella laajat. Lennokkien mahdollisia sovellusaloja on muun muassa infrarakentaminen, kaivosteollisuus, kaupunkisuunnittelu, täydennys- ja luonnonvarojen kartoitus sekä maisemakuvaukset. Lennokkia käytetään myös apuna valvonnoissa, tarkastuksissa sekä etsinnöissä. Myös eri lajien harrastajat ja elokuvien tekijät ovat hyötynneet paljon ilmassa lentävistä kameroista. (Hassinen, 2013, 9; Sippo 2013, 35.)

Kartoituksissa ja mittauksissa lennokkeja ja koptereita on käytetty esimerkiksi haekasojen tilavuuksien laskentaan, tai avolouhosten ja hiekkamonttujen mittamiseen. Isompien alueiden kartoitukseen lennokka ei oikein sovellu lainsäädännön takia, sillä se edellyttää koneen olevan koko ajan näkyvässä eikä koneen lentokorkeus saa ylittää 150 metriä. Suunnittelussa tarkka ja yksityiskohtainen ortokuva on mainio apu projektin käynnistyessä ja sen seurannassa. Esimerkiksi suurissa tieurakoissa reaaliaikainen tilannekuva parantaa havainnollistamaan suunnittelu-, väli- ja loppuraportointia. (Hassinen, 2013, 8–9; Sippo 2013, 35.)

Luonnonvarjoja tutkiessa voi ilmakuvilta tarkastella pelto- tai metsäalueiden kasvillisuutta ja havaita esimerkiksi pellolta alueet jotka kaipaavat lannoitetta. Valvonnassa, tarkastuksissa ja etsinnöissä UAV-lennokin hyöty on sen lähettämä

reaaliaikainen ilmakehäkuva kohteesta. Lennokin käyttöä rajoittaa lainsäädännön vaatimus lennokin näkymisestä lähtöpaikalle, mutta jos tarkastusta tai etsintää tehdään poliisi- tai pelastusviranomaisen pyynnöstä, voi viranomaista pyytää sulkemaan ilmatilan muulta liikenteeltä. Tällöin nämä rajoitukset eivät ole voimassa, ja tarkastuksia voidaan tehdä koneen toimintasäteen sallimissa rajoissa. (Hassinen 2013, 6–9; Sippo 2013, 33–35.)

2.4 Lainsäädäntö

Miehittämättömien ilma-alusten käytöstä säädelään ilmailulaissa ja ilmailusäädöksissä. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on Suomen ilmailuviranomainen, joka huolehtii ilmailun yleisestä turvallisuudesta. Se toimii yhteistyössä Euroopan lentoturvallisuusviranomaisen (EASA) kanssa. Yhä useampien ilmailumääräysten taustalla ovat kansainväliset standardit ja suositukset. (Trafi 2013; Mansikka 2014.)

Aikaisemmin UAV-laitteiden toimintaa koskeva lainsäädäntö on ollut merkittävästi alalla tapahtuvaa kehitystä jäljessä. Vasta vuonna 2014 syksyllä voimaan tulleet miehittämättömien ilma-aluksien määräykset tiukensivat työ- tai ammattikäytössä käytettävien laitteiden toimintaa. Määräykset eivät koske hupi- tai urheilutarkoituksessa lennätettyjä laitteita. (Mansikka 2014.)

Uusien säädösten mukaan lennokin on oltava koko ajan lennättäjän näköpiirissä, korkeintaan 500 metrin etäisyydellä ja enintään 150 metrin korkeudessa. Laite ei myöskään saa painaa yli 25 kiloa, eikä tiheään asuttujen alueiden tai yleisön päällä saa lentää. Ilmailulakiin on tulossa myös muutoksia tulevaisuudessa. Jonnain päivänä lennokin lennättäjältä voidaan vaatia muun muassa lupakirja lennokin lennättämiseen. Tavoitteena on niin sanottu minimisäätely, jolla turvataan alan kehitys turvallisuutta unohtamatta. (Mansikka 2014.)

Lennokin ominaisuuksien ja lentoetäisyyksien lisäksi on huomioitava ilmakehäkuvausta koskeva lainsäädäntö. Ilmavalokuvaus on Suomessa pääosin sallittua, mutta aluevalvontalain 14§:ssä kielletään sotilaskohteiden valokuvaus:

”Suomen alueella ei saa ilman lupaa kuvata lennon aikana ilma-aluksesta tai muusta ilmassa liikkuvasta laitteesta sähkömagneettisen säteilyn taltiointiin käytettävällä laitteella, ellei Suomea velvoittavasta kansainvälisestä sopimuksesta muuta johdu:

- 1) ilmailulain (281/1995) 7 §:n 1 momentin nojalla ilmailulta pysyvästi rajoitettuja alueita;
- 2) linnoitusalueita, linnakkeita tai kasarmialueita;
- 3) sotasatamia tai sotilaslentokenttiä;
- 4) puolustusvoimien varikoita tai varastoja;
- 5) puolustusvoimien viestiasemia, antennikenttiä tai puolustuslaitteita tai välineitä;
- 6) puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen maastoharjoituksia.

Mitä 1 momentissa säädetään, ei koske kuvaamista lentoväylällä liikkuvasta ilma-aluksesta yksityiseen tarkoitukseen.

Luvan perusteella otetut tallenteet voidaan lupamääräysten noudattamisen valvomiseksi määrätä esitettäväksi lupaviranomaiselle.”
(Aluevalvontalaki 755/2000 14 §)

3 MITTAUSTYÖT

3.1 Lentovalmistelut

Miehittämättömien lentoalusten lentovalmistelut eivät vaadi suuria toimenpiteitä. Suurin prosessi valmisteluissa on signaalipisteiden rakentaminen maastoon. Lentosuunnitelma voidaan laatia nopeasti siihen suunnitellulla ohjelmistolla esimerkiksi vasta kuvauspaikalla. Ennen kuvausalueelle lähtöä on hyvä tarkistaa akkujen varaukset, sekä kameran ja koneen toimivuudet.

Työssä suoritettavan lennon lentovalmistelut sujuivat suurimmaksi osaksi ongelmitta. Kuvauksen ajankohta tuli valita suotuisten sääolosuhteiden mukaan. Myös koneiden sekä kuvausinstrumenttien toimivuus tarkastettiin ennen kuvausalueelle lähtöä.

3.1.1 Signalointi

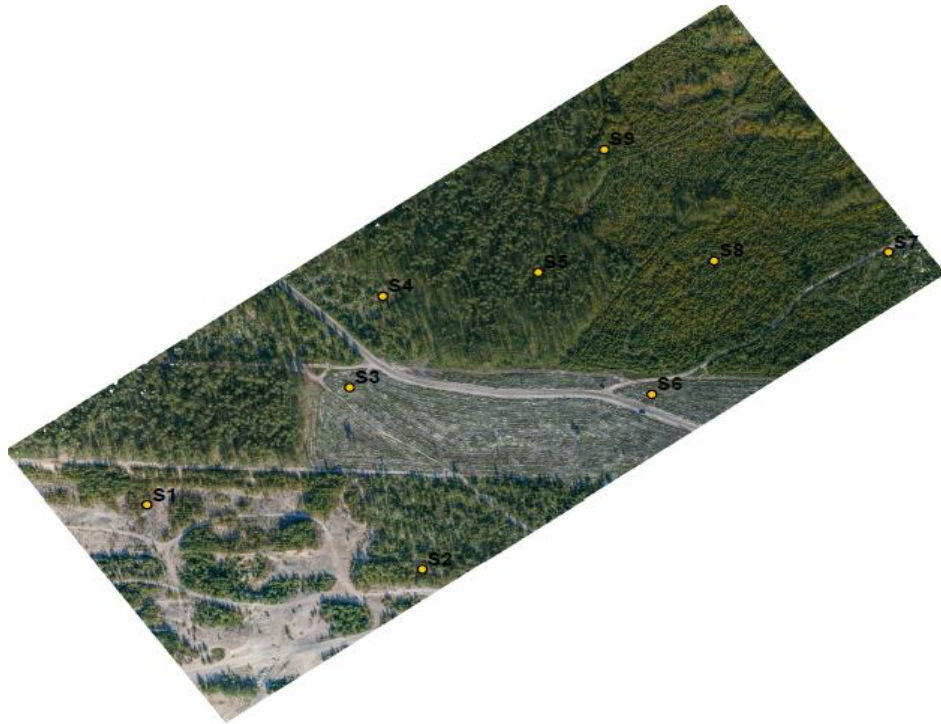
Signaloinnilla osoitetaan maastosta kohteita, joiden halutaan selkeästi erottuvan kuvilta. Signaalien muoto voi vaihdella, mutta yleisimmin käytetty signalointitapa on valkoinen ristisignaali (Kuvio 3). Signaalin erottuvuutta maastosta voi parantaa kontrastia lisäävillä materiaaleilla tai väreillä.

Kuvattavalle alueelle mitattiin ensiksi yhdeksän GCP pistettä (Ground Control point). Näitä pisteitä käytetään ortokuvan rakentamisessa, ja niiden avulla kuva saadaan orientoitua koordinaatistoon. Pisteiden päälle rakennettiin 0,12 x 0,60 metrin kokoiset ristisignaalit, jotta pisteet erottavat maastosta.



Kuvio 3. Signaali maastossa

Signaaleita asetettaessa on huomioitava, varsinkin UAV-kuvauksissa matalasta lentokorkeudesta johtuen signaalien näkyvyys taivaalle. Signaalin ympärillä on oltava riittävästi tyhjää tilaa, jottei se peity esimerkiksi puiden taakse lennokin ottaessa kuvia eri suunnista. Signaaleita tulisi levitellä kohdealueelle tasaisesti, jottei ortokuvaa tuottaessa siihen pääsisi syntymään virhettä (Kuvio 4). Kuvausalueen signaaleita olisi voinut olla enemmänkin, mutta yhdeksällä GCP pisteellä päästiin riittävään tarkkuuteen ja saatiin muodostettua tarkka ortokuva.



Kuvio 4. Signaalipisteiden sijainnit kuvausalueella

3.1.2 Lentosuunnitelma

Lentosuunnitelma tuotetaan tietokoneohjelmalla johon määritellään kuvattavan alueen suuruus- pituus ja leveyssuunta. Ohjelma laskee automaattisesti kohdepisteet lentoreitille asetettujen parametrien mukaisesti (Kuvio 5). Kuvauksissa pyritään aina yli 70 prosentin pituuspeittoihin.



Kuvio 5. Lentosuunnitelman kuvausjonot

Suunnitelmassa täytyy myös huomioida koneen laukaisu- sekä laskeutumisalue. Laukaisupaikka ei vaadi suurta aluetta, sillä kone voidaan lähettää kädestä heittämällä. Laskeutumisalue tulee miettiä tarkkaan, sillä kivikkoisen tai kova maasto voi aiheuttaa mahdollisia materiaalisia vahinkoja laitteelle.

Kuvauksessa laskeutumisalueeksi valittiin heinikkoinen palsta hakkuuaukolta, jotta laskeutuminen tapahtuisi mahdollisimman pehmeästi. Lennokin maa-asema rakennettiin henkilöauton takaosaan lähelle laskeutumisaluetta.

3.1.3 Kuvauskohde ja tarkoitus

Kuvauskohde oli noin 20 hehtaaria ja sijaitsi Oulun Haukiputaalla. Alueelle oli tärkeää työn kannalta se, että se sisältäisi monenlaista kasvillisuutta, jotta nähdään kuvauksen tuottaman pistepilven käytettävyyys eri kasvillisuus tiheyksissä. Alueella oli seitsemän verrattain erilaista, eri-ikäistä ja eri tiheyksistä aluetta. Kuvauksen tarkoituksena oli tuottaa UAV:n avulla fotogrammetrinen pistepilvi ja verrata sitä kahteen samalta alueelta tuotettuun laserkeilausaineistoon.

Alueelta mitattiin GPS-kartoituksen avulla pisteverkkoja, jotta saadaan vertailevaa dataa maanpinnan muodosta sekä korkeudesta. Kartoitus tehtiin mittaamalla eri alueilta pisteverkkoja niin, että mittaushavainnot pystyttiin 3D-Win-ohjelmistolla kolmioimaan ja muodostamaan niistä maastomallit.

3.2 UAV-kuvaus

Kuvaus suoritettiin syyskuussa, jolloin kasvit ja puut eivät olleet vielä pudottaneet lehtiään. Ajankohta oli siinä mielessä huono, että puiden lehdet heikensivät huomattavasti näkyvyyttä maanpinnalle. Kohdealueen signalointi ja kuvaus ja valmistelut suoritettiin 11.–12.9.2014. Valmistelut tehtiin yhdessä toimeksiantajan Maailmasta Oy:n kanssa. Ensimmäisenä päivänä rakennettiin kuvattavalle alueelle signaalit ja mitattiin niille GPS-koordinaatit. Seuraavana päivänä tarkastettiin signaalien sijainti ja kunto.

Päivä oli pilvetön ja aurinko paistoi kirkkaalta taivaalta, joten oli odotettava keskipäivään, jolloin aurinko on korkeimmillaan ja sen luomat varjot maastossa mahdollisimman pieniä. Paras mahdollinen keli olisi pilvinen, sillä silloin aurinko ei luo maastoon varjoja, jolloin kuva on mahdollisimman selvä. Laserkeilausta varjot eivät haittaa sillä siinä käytettävä valon aallonpituus on ihmisen silmälle näkymätön.

Miehittämättömän ilma-aluksen kevyt rakenne mahdollisti sen lähettämisen kädestä heittämällä. Kuvauksen aikana tuuli maanpinnalla oli vain muutama metri sekunnissa, mutta lennokin saavuttaessaan lentokorkeuden, tuuli oli huomattavasti kovempi kuin maanpinnalla. Myös tuulen suunta lentokorkeudella tuntui olevan eri kuin maassa.

Tuulen vaikutuksen huomasi ilma-aluksen lentäessä tuulen suuntaisesti. Sen nopeus vaihteli ja käännösten säde kasvoi, jolloin myös kuvausjonojen etäisyys vaihteli. Kova tuuli ja kuvausjonojen etäisyyksien vaihtelu ei kuitenkaan haitannut lentoa merkittävästi, sillä kuvaus suoritettiin käyttäen suuria sivu- ja pituuspeittoprosentteja. Lennon tuloksena kuvausalueelta saatiin muodostettua suunnitelman mukainen tarkka koko alueen kattava ortokuva.

3.3 Kuvien prosessointi

Prosessointi tapahtui suurimmilta osin automaattisesti. Kuvauksen jälkeen kuvat siirrettiin tietokoneelle, jossa siihen soveltuva tietokoneohjelma yhdisti yksittäiset kuvat yhdeksi kuvablokiksi, jolloin kuvablokki kattoi koko suunnitelmissa olevan kuvausalueen. Kun signalointipisteiden tiedot yhdistettiin kuvilta näkyviin signaaleihin, saatiin sijaintitarkkuutta parannettua huomattavasti ja kuvablokista muodostettua ortokuva. (Sippo 2013, 34–35.)

Tietokoneohjelma käytti ortokuvaa luodessa kuvien sijainti- sekä lentoaluksen kiertymiskulmien tietoja, jolloin kuvat pystyttiin asettamaan niiden lennonaikaisien sijaintien mukaisesti ja muodostettua niistä tietokoneella kuvablokki. Maastoon rakennettujen signaalipisteiden sijaintitietojen avulla kuvablokki voitiin sitoa ulkoiseen koordinaatistoon.

3.4 Pisteiden luokittelu

Pisteiden luokittelu on tärkeä toimenpide, jotta aineistoa voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Luokittelu määrittelee lasersäteen heijastaneen pinnan laadun. Tätä laserkeilauslaitteen vastaanottamaa kaikua kutsutaan intensiteetiksi. Intensiteetin avulla voidaan tunnistaa jokaiselle yksittäiselle pisteelle tietty luokitus. Tämän luokittelun avulla voidaan havainnoida onko piste heijastunut esimerkiksi maanpinnasta vai kasvillisuudesta (Taulukko 1). (Koski 2001, 25.)

Pisteiden luokittelu tapahtuu yli 90 prosenttisesti automaation avulla. Luokkien lukumäärä vaihtelee erityyppisten projektien välillä ja suurten luokkien projekteissa voi käyttäjä joutua luokittelemaan tuhansia, tai jopa miljoonia pisteitä oman harkintansa mukaan. TerraScan on toimenpiteeseen sopiva ohjelma ja luokitte- lua tehdessä aineistoa kannattaa tarkastella yhdessä useiden eri lähteiden kanssa. (Soininen & Korpela 2007.)

Taulukko 1. Maanmittauslaitoksen käyttämät pisteluokat tässä työssä

Numero	Luokka	Kuvaus
1	Default	Luokittelematon
2	Ground	Maanpintapisteet
3	Low vegetation	Matala kasvillisuus
7	Low point	Matalat virhepisteet

UAV:n avulla tuotetun fotogrammetrisen pistepilven pisteiden luokitteluun käytetään hieman eri toimintamenetelmiä, sillä kamerana käytetään normaalia järjestelmäkameraa. Pisteiden automaattinen luokittelu tapahtuu käyttäen erilaisia parametreja kuten pisteen katselukulma kameraan nähden, pisteen etäisyys ja pistepilven solun koko. Luokittelun voi tehdä myös manuaalisesti, jolloin on mahdollista päästä parempaan lopputulokseen. Manuaalinen luokittelu on vain huomattavasti aikaa vievämpi ja työläämpö toimenpide. (Agisoft 2103, 34,35.)

3.5 Mittaustuote

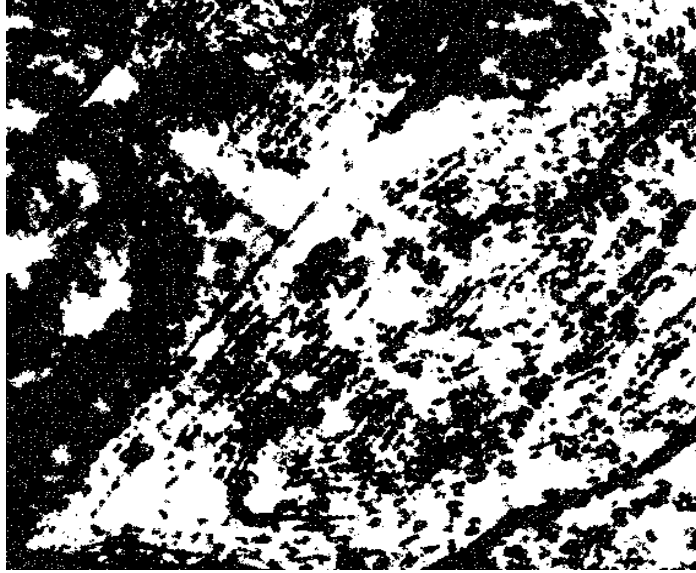
Kuvia kuvausalueelta otettiin 177 kappaletta ja kuvan resoluutio maassa oli 3,4 senttimetriä. Signaalipisteiden virheet olivat pieniä (Taulukko 2). Suurin virhe korkeudessa tuli signaalipisteellä seitsemän, jossa korkeuden virhe oli noin 3 senttimetriä. Tämä johtuu luultavimmin pisteen vähäisistä projektioista. Signaalipiste seitsemän näkyi vain kuudelta kovalta.

Taulukko 2. Kuvauksen virheet signaalipisteillä

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
S1	0.008471	0.016109	-0.029794	0.034914	16	0.342058
S2	-0.000644	-0.013312	-0.000082	0.013328	8	0.237068
S3	-0.015996	0.015584	0.025663	0.034019	19	0.147277
S4	-0.000769	-0.018589	0.008028	0.020263	15	0.139502
S5	0.004425	0.000617	0.007759	0.008954	9	0.148450
S6	0.013852	-0.002734	0.019357	0.023959	10	0.180183
S7	-0.001262	0.019699	-0.031311	0.037014	6	1.498234
S8	-0.003221	-0.030226	0.001082	0.030416	15	0.214227
S9	-0.001892	0.010688	-0.009517	0.014436	16	0.228601
Total	0.007857	0.016495	0.018612	0.026082	114	0.403292

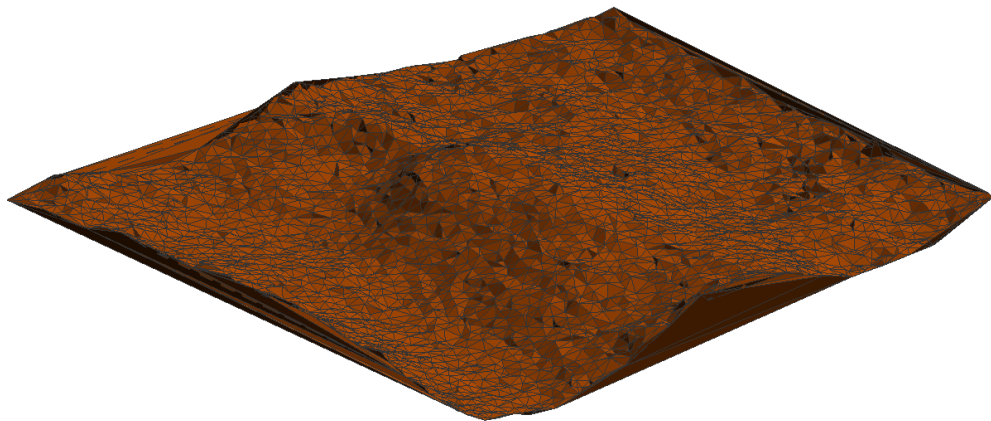
Signaalipisteiden virheitä tarkkaillessa voidaan todeta mittausmenetelmällä tuotetun aineiston tarkkuuden riittävän monilta osin asemakaavan pohjakartan laatimisen edellyttämiin laatuvaatimuksiin. Esimerkiksi JHS-suosituksissa rakennetun tilan mittausluokan yksi pistekeskivirhe on 20 senttimetriä. (JHS 2014.)

Mittaustuotteena lennosta saatiin ortokuvan lisäksi pistepilviaineisto. Aineiston harventamiseen ja siivoamiseen käytin Terrasolidin ohjelmistoja. Aineistosta poistettiin pisteiden luokittelun perusteella kasvillisuus- ja virhepisteet, jolloin jäljelle jäi vai luokitellut maapisteet. Harvennuksen jälkeen pisteitä alueelle jäi noin 27 miljoonaa eli noin 170 pistettä neliömetrille. Lentoalueen peitteisimmille alueille jäi pisteettömiä kohtia, sillä niissä kuvaus ei läpäissyt kasvillisuutta maanpinnalle saakka (Kuvio 6).



Kuvio 6. Fotogrammetrinen pistepilvi

Aineiston siivoamisen jälkeen leikkasin alueelta GPS:llä mittaamiani pisteverkkoja vastaavat alueet ja tein 3D-Win ohjelmistolla niistä maastomallit. Seuraavassa kuviossa on UAV-laitteella tuotetun pistepilven alue kolmioituna. (Kuvio 7.) Alue on leikattu ajouralta ja siksi pä kuviossa voi selvästi erottaa renkaiden painaumat, sekä uran korkeamman kesikohdan.



Kuvio 7. Pistepilvi kolmioituna

4 TUOTETUN AINEISTON VERTAILU LASERKEILAUSAINEISTOON

4.1 Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto on maanpintaa ja maanpinnalla olevia kohteita kuvaava kolmiulotteinen pistemäinen aineisto. Jokaisella yksittäisellä pisteellä on x, y ja z koordinaattitieto. Laserkeilausaineisto on maanmittauslaitoksen tarkin korkeusaineisto ja se kattaa lähes koko Suomen. Aineistoja voi ladata avoimien aineistojen hankita sivustolta (Maanmittauslaitos 2014).

Laserkeilaus on suoritettu keväällä 2014 lentokoneesta 2000 metrin korkeudesta. Tällöin aineiston pistetiheys on vähintään 0,5 pistettä neliömetrillä. Yksittäisten pisteiden etäisyys toisistaan on enintään noin 1,4 metriä. (Metatieto 2001).

4.2 Blom Kartan laserkeilausaineisto

Blom Kartta Oy on Euroopan johtavia yrityksiä paikkatiedon hankinnassa, käsittelyssä sekä mallintamisessa. Yritys työllistää noin 600 työntekijää kymmenessä eri maassa ja sen pääkonttori sijaitsee Oslossa. (Blom Kartta 2012.)

Blom Kartan laserkeilaus kohdealueelta on alun perin tehty yrityksen muuhun tilaustyöhön liittyen. Laserkeilaus on tehty vuoden 2014 toukokuussa 450 metrin korkeudesta helikopterilla. Aineiston pistetiheys on keskimäärin 40 pistettä neliömetrillä ja pisteiden etäisyys toisistaan 4,3 senttimetriä. (Blom Kartta 2014.)

4.3 Mittausmenetelmien erot

UAV-kartoituksen ja ilmalaserkeilauksen mittausmenetelmät ovat kartoitusperiaatteiltaan hyvin samanlaiset. Molemmat mittausmenetelmät tapahtuvat ilmasta käsin ja molemmissa lennetään useita vierekkäisiä kuvausjonoja.

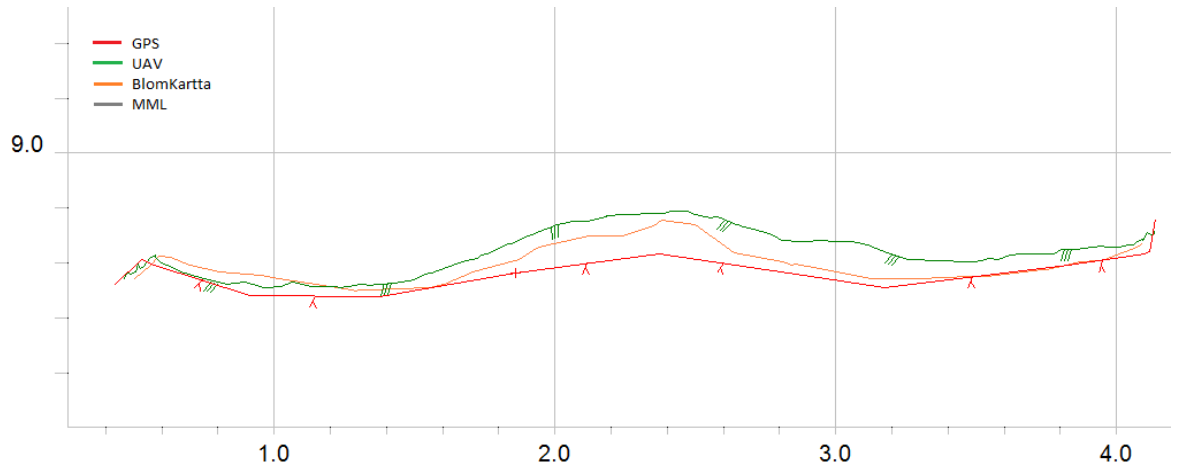
UAV-kuvauksen etuna ovat lentovalmisteluiden nopeus ja työn kustannukset, mutta toisaalta pieni kauko-ohjattava lennokki on alttiimpi sääolosuhteille, eikä kartoitettava alue voi olla kovin suuri. Täysikokoisella lentokoneella tai helikopterilla kartoittaessa alue voi olla useita kymmeniä neliökilometrejä.

Suurimmat erot näiden kolmen aineiston mittausmenetelmissä ovat kuvauskorkeudet. Kuvauskorkeudet määräytyy sen perustella kuinka yksityiskohtaista aineistoa tarvitaan. Esimerkiksi työssä käytetty maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto on koko maan kattava korkeustietoaaineisto, jolloin yksittäisen ajouran tarkka profilointi ei ole oleellista. Tarkan vertailun saavuttamiseksi täytyisi kaikki kuvaukset suorittaa samalta korkeudelta. Tällöin puiden peitto ja maanpinna näkyvyys olisi kaikille mittausmenetelmille sama.

4.4 Laskentatulosten erot

Tarkan ja yksityiskohtaisen maastomalli kannalta olisi tärkeää se, että tuotettu pistepilvi kattaisi koko kuvausalueen eikä tyhjiä kohtia syntyisi. Fotogrammetrisen pistepilveen jäi useita peitteisiä alueita joilta ei saatu lainkaan dataa maanpinnalta. Tähän voi osaksi vaikuttaa kuvaksen huono ajankohta, sillä kasveissa ja puissa oli vielä lehdet kesän jäljiltä. Tämä aiheutti peitteisyyden lisääntymistä huomattavasti. Molemmat laserkeilaukset suoritettiin keväällä, jolloin kasvien ja puiden lehdet eivät olleet vielä puhjenneet. Laserkeilauksien pistepilvet olivat fotogrammetristä aineistoa tasaisempia eikä niihin syntynyt täysin pisteettömiä alueita.

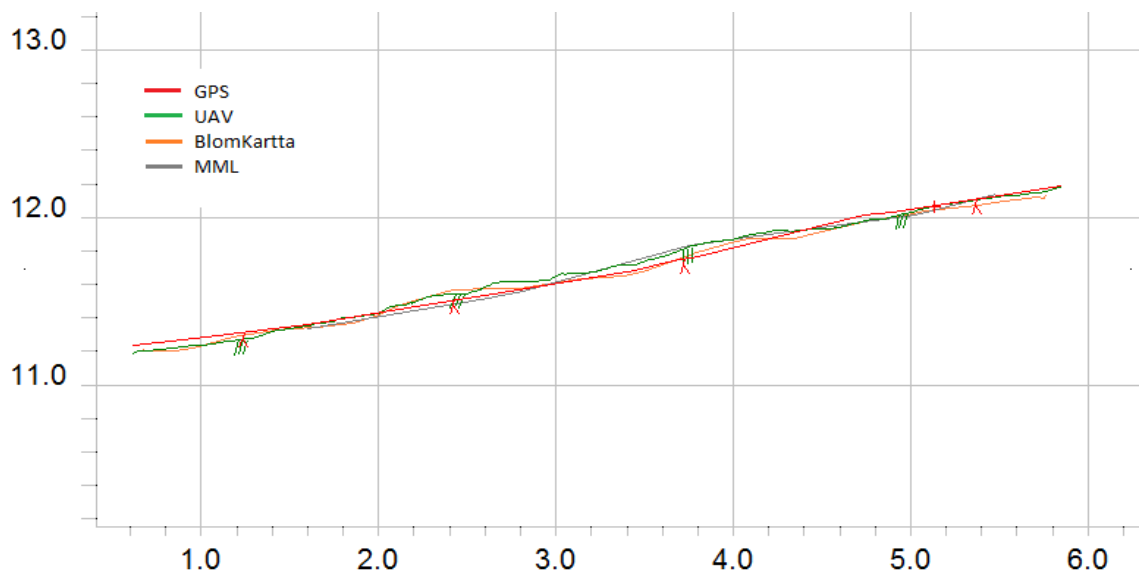
Fotogrammetrisesti ja laserkeilauksella tuotettujen pistepilvien eroja voidaan tarkastella kolmioimalla pisteaineisto ja tekemällä niistä poikkileikkaus. Tällöin pystytään helposti vertailemaan aineistojen tuottamaa maanpinnan mallinnusta. Tukena vertailussa käytin GPS:llä mittaamiani maastomalleja. Kaikkien mittausmenetelmien poikkileikkaukset on tehty samasta kohdasta aineistoja. Kuviossa 8 on poikkileikkaus ajouralta, jolla aluskasvillisuus oli runsasta varsinkin uran keskikohdalla. Maanmittauslaitoksen pistepilvi oli liian harva vertailualueella maastomallin tekemiseen, jolloin se ei ollut vertailukelpoinen muiden aineistojen kanssa.



Kuvio 8. Poikkileikkaus ajouralta (Liite 1)

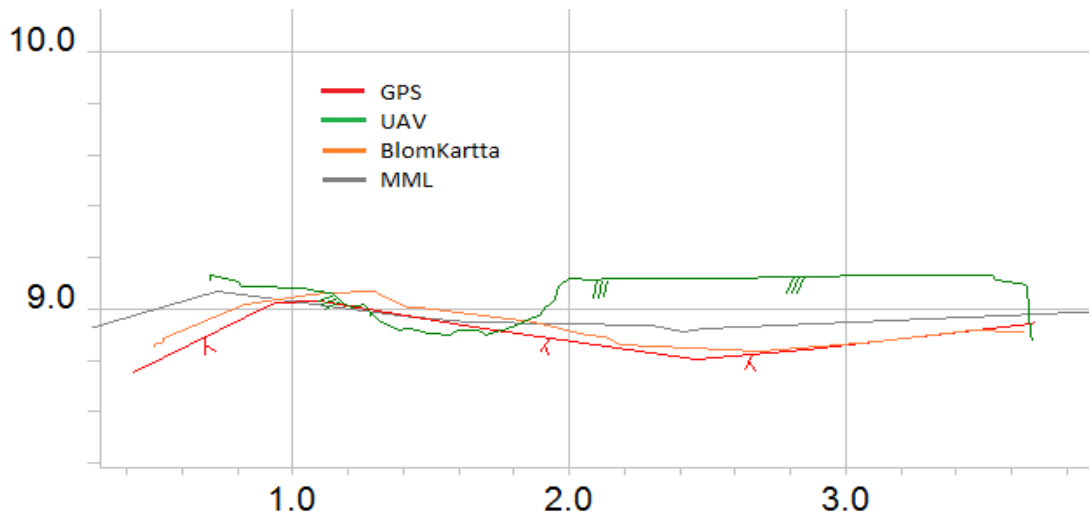
Kuvion 8 poikkileikkauksia vertaillessa voidaan selkeästi havaita aineistojen yhtenäiset muodot ja todeta, että pistepilviaineistot muotoilevat maanpinnan muotoja. Korkeudessa sen sijaan huomataan noin 5 -15 senttimetrin eroja GPS-kartoitukseen verrattuna. Syy korkeuseroihin syntyy aluskasvillisuuden tiheydestä ja mittausmenetelmien kyvystä läpäistä tiheää kasvillisuutta.

Kun katsotaan vanhalta soramontulta tuotettua vertailua (kuvio 9). Huomataan, että kaikkien mittausmenetelmien muoto on lähes yhtenäinen, eikä korkeuksissa ole heittoa.



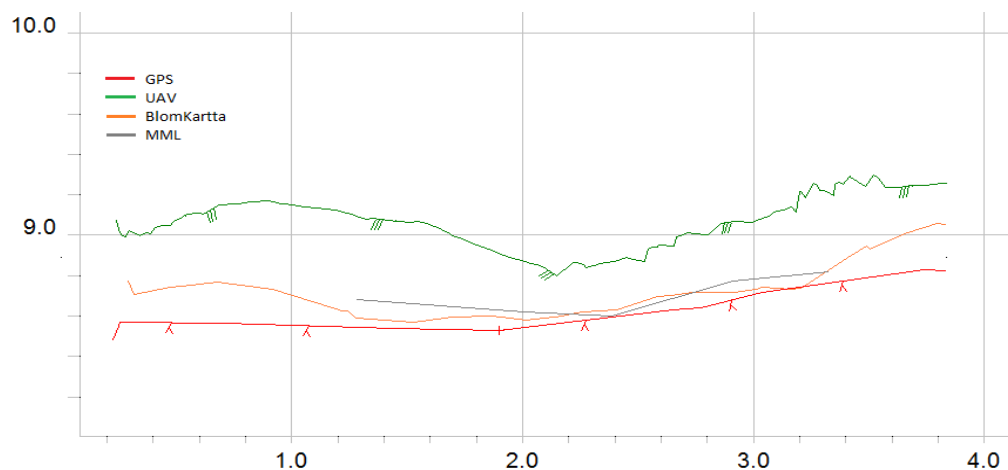
Kuvio 9. Poikkileikkaus soramontulta (Liite 1)

Ongelmia UAV-kuvaukselle tuotti kohdealueen tiheimmät pusikot, joissa pisteitä saatiin maanpinnalta vain pieniltä alueilta. Laserkeilausien aineistot olivat myös harvempia tiheillä alueilla, mutta täysin tyhjiä kohtia ei niissä syntynyt. Tiheikköisen alueen poikkileikkauksesta näkee UAV-kuvauksen virheen muihin mittausmenetelmien havaintoihin verrattuna (Kuvio 10).



Kuvio 10. Poikkileikkaus tiheiköstä (Liite 1)

Suurimmat erot laserkeilauksen- ja fotogrammetrisen pistepilven aineistoissa tuli alueilla joissa tiheä aluskasvillisuus esti maanpinnan mallintamisen (Kuvio 11). UAV-kuvauksen havainnot muotoilevat muiden mittausmenetelmien aineistoja, mutta UAV-kuvauksella tuotettu pistepilvi ei läpäissyt korkeaa varvikkoa. Laserkeilausaineisto ei myöskään aivan päässyt maanpinnan todelliselle tasolle, mutta silti 20–30 senttimetriä UAV:ta syvemmälle.



Kuvio 11. Poikkileikkaus alueelta pienimetsä (Liite 1)

5 POHDINNAT

Opinnäytetyö sujui suunnitelmien mukaan. Työssä tehty mittaustyö osoitti UAV-kuvauksen olevan nopea ja hyvä keino saada tarvittavaa aineistoa kohdealueelta. Työn tuloksiin on osaksi vaikuttanut UAV-kuvauksen huono ajankohta siinä mielessä, että puissa olevat lehdet lisäsivät useiden alueiden peitteisyyttä. Maanmittauslaitoksen sekä Blom Kartan laserkeilaukset ovat molemmat tehty keväällä, kun puihin ei ollut puhjennut vielä lehti.

Mittaustyöt osoittivat UAV-kuvauksen soveltuvan monilla alueilla maastomallin tuottamiseen. Eri mittausmenetelmillä tuotettujen pistepilviaineistojen vertailussa huomataan, että UAV-kuvauksen avulla tuotetun fotogrammetrinen pistepilvi on monilla vertailualueilla lähes yhtenäinen laserkeilausaineistojen kanssa. Suurimmat erot laserkeilauksen kanssa syntyi kuvausalueen tiheimmillä alueilla, ja alueilla joissa aluskasvillisuus oli runsasta. Parempien tulosten saamiseksi olisi suositavaa, ettei kasvien ja puiden lehdet kerkeäisi kasvamaan liiaksi, eikä auringon tuottamat varjot peittäisi liikaa maastosta. Oikeana ajankohtana ja huolellisella suunnitellulla tuotetun UAV-kuvauksen aineisto ei tarkkuudeltaan tai käytettävyydeltään paljoa häviä laserkeilaukselle.

Maaston mallintamiseen sopivia ilmakuvauksjärjestelmiä on useita ja parhaiten käyttöön soveltuva järjestelmä riippuu kartoitettavan alueen koosta, sääolosuhteista sekä tarvittavasta tarkkuudesta. UAV-kuvauks on nopea ja edullinen vaihtoehto pienille kuvausalueille. Lennokki ja tarvittava kalusto ovat nopeasti käyttövalmiina ja lentosuunnitelman voi tehdä nopeasti vasta paikanpäällä. Edullisuudeltaan sen on perinteistä ilmakuvauks huomattavasti halvempi. Heikkouksina miehittämättömissä ilma-aluksissa voi pitää sen alttiutta vaihteleville sääolosuhteille ja mahdollista vaurioitumista laskeutumisissa.

LÄHTEET

- Agisoft. 2013. PhotoScan User Manual. Viitattu 21.5.2015 http://fieldof-viewllc.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/27_AGISOFT%20PHOTOSCAN%20PRO%20USER%20GUIDE.PDF 34–35
- Aluevalvontalaki. 18.8.2000/755.
- Blom Kartta. 2012. About Blom. Viitattu 21.5.2015 <http://www.blomasa.com/top-menu-en-0-1115/about-blom.html>
- Blom Kartta. 2014. Project report.
- Hassinen, A. 2013. UAV-lennokit, kokemuksia UAV-laitteista. Itä-Suomen yliopisto. Viitattu 20.4.2015. <http://mekri.uef.fi/uav/UAV-lennokit.pdf> 3-10.
- JHS 2014. Asemakaavan pohjakartan laatiminen, Liite 4 Kohteiden kartoituksen laatuvaatimukset. Viitattu 21.5.2015 http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS185_liite4/JHS185_liite4.pdf.
- Koski, J. 2001. Laserkeilaus, uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4/2001. 25.
- Orzea, E. (toim.) 2013. Laser microdrone takes mining to a new level, sUAS News. Viitattu 10.4.2015 <http://www.suasnews.com/2013/11/25924/laser-microdronetakesmining-to-a-new-level/>
- Laurila, P. 2014. Kaukokartoitus. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu.
- Maanmittauslaitos. 2003. Kaavoitusmittausohjeet. Viitattu 21.5.2015 http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet_2003_0.pdf 24–25.
- Maanmittauslaitos. 2014. Laserkeilausaineisto. Viitattu 29.4.2015 <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>.
- Maanmittauslaitos. 2015. Metatieto. Viitattu 30.4.2015 <http://www.paikkatietohakemisto.fi/catalogue/ui/metadata.html?uuid=0e55977c-00c9-4c46-9c87-dee6b27d2d5c&lang=fi>
- Mansikka, H. (toim.) 2014. Pienoishelikoptereille tulossa tiukat rajat – yleisön yllä lentäminen kielletään. YLE. Viitattu 24.4.2015 <http://www.digitoday.fi/yhteiskunta/2014/09/12/lennokkien-kaytolle-rajoituksia-suomessa-pois-ihmisten-paalta/201412719/66>
- Newcome, L. 2004. Unmanned Aviation, A Brief History of Unmanned Aviation. Barnsley, Great Britain: Pen and Sword Aviation. 1–6,139.

Sippo, M. 2013. Lennokkikartoitus – uusia näkymiä ilmasta. Maankäyttö 2/2013 33-35.

Soininen, A & Korpela H. 2007. Processing of Airborne Laser Data and Images Versatile products through skilled processing. Viitattu 21.5.2015
<http://geospatialworld.net/magazine/MArticleView.aspx?aid=20217&Itemid=1270>

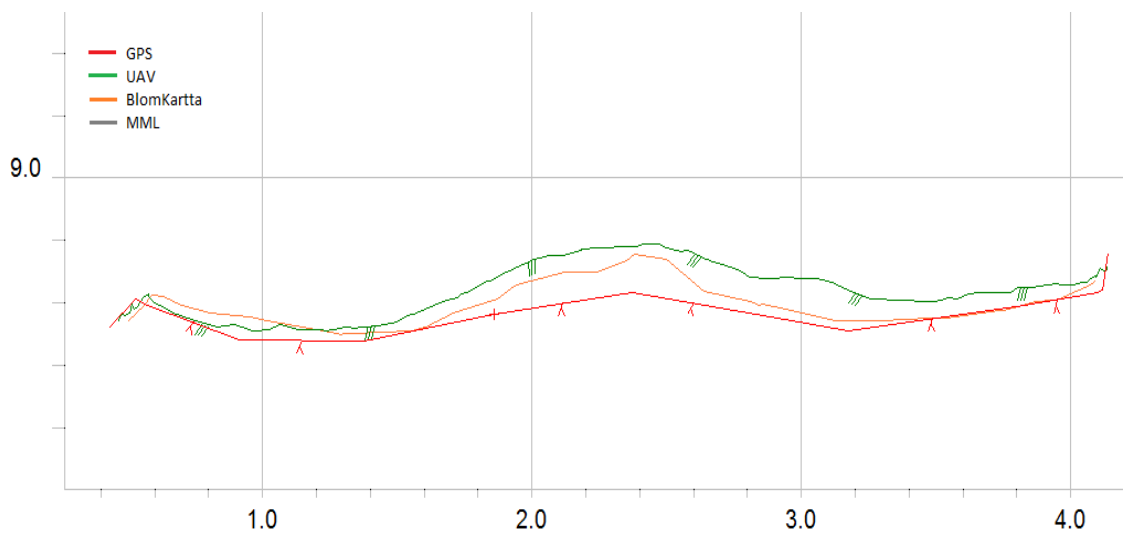
Trafi = Liikenteen turvallisuusvirasto. 2013. Säädökset. Viitattu 27.4.2015
<http://www.trafi.fi/ilmailu/saadokset>.

MITTAUSTULOSTEN POIKKILEIKKAUKSET JA VERTAILUALUEIDEN KUVAT

Liite 1 1(7)



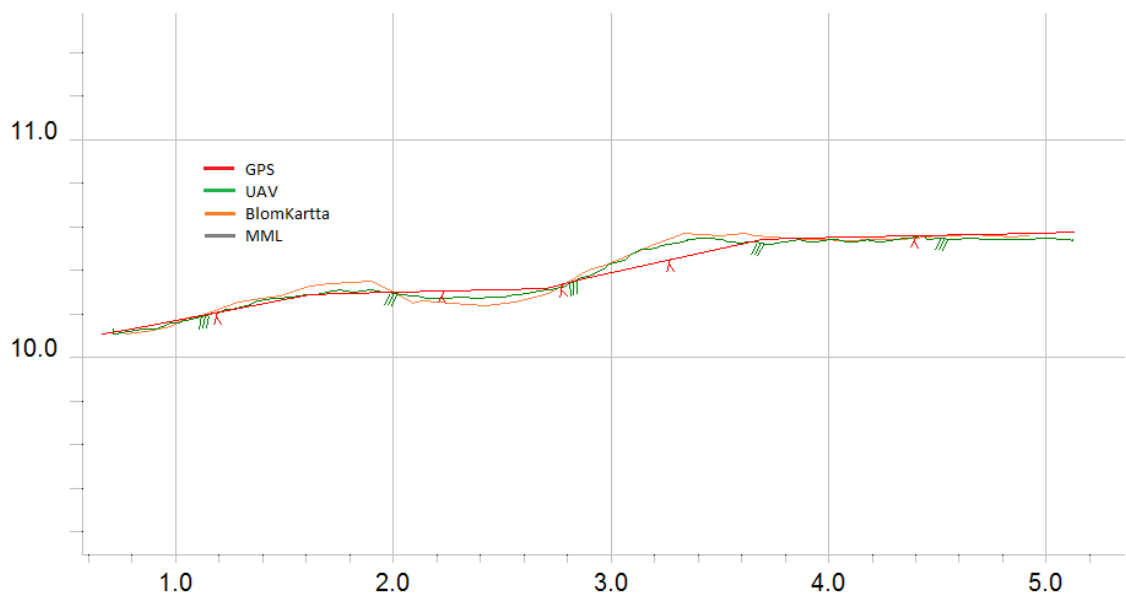
Ajoura.



Alueen ajoura poikkileikkaukset. Maanmittauslaitoksen aineistossa liian vähän pisteitä vertailualueella.



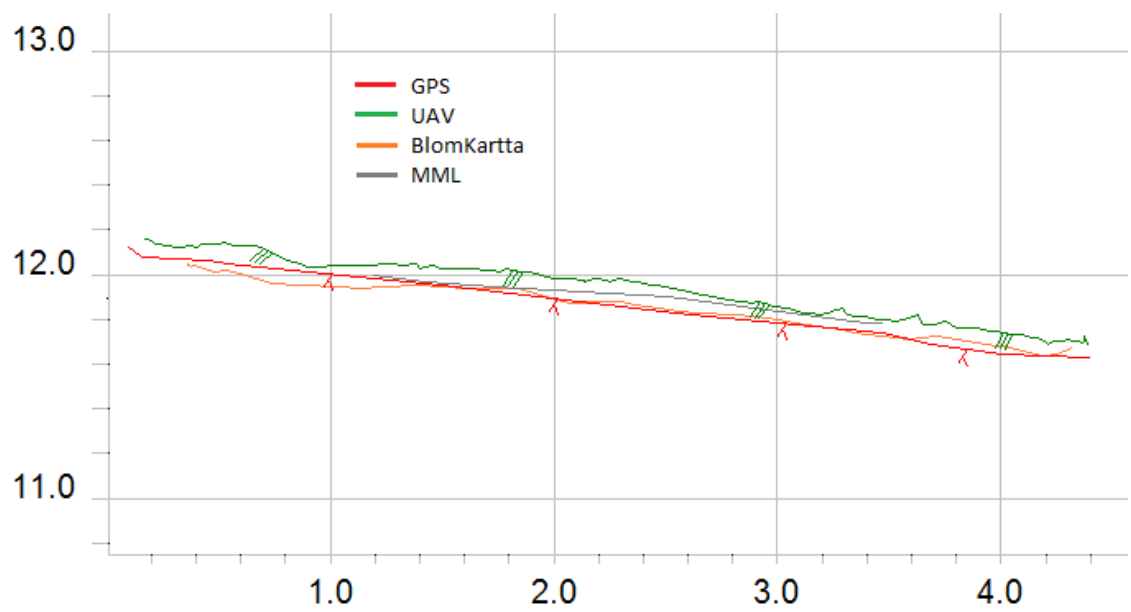
Aukko.



Alueen aukko poikkileikkaukset. Maanmittauslaitoksen laserkeilauksen aikaan alueella kasvoi vielä metsä, näin ollen aineisto ei ollut vertailukelpoinen.



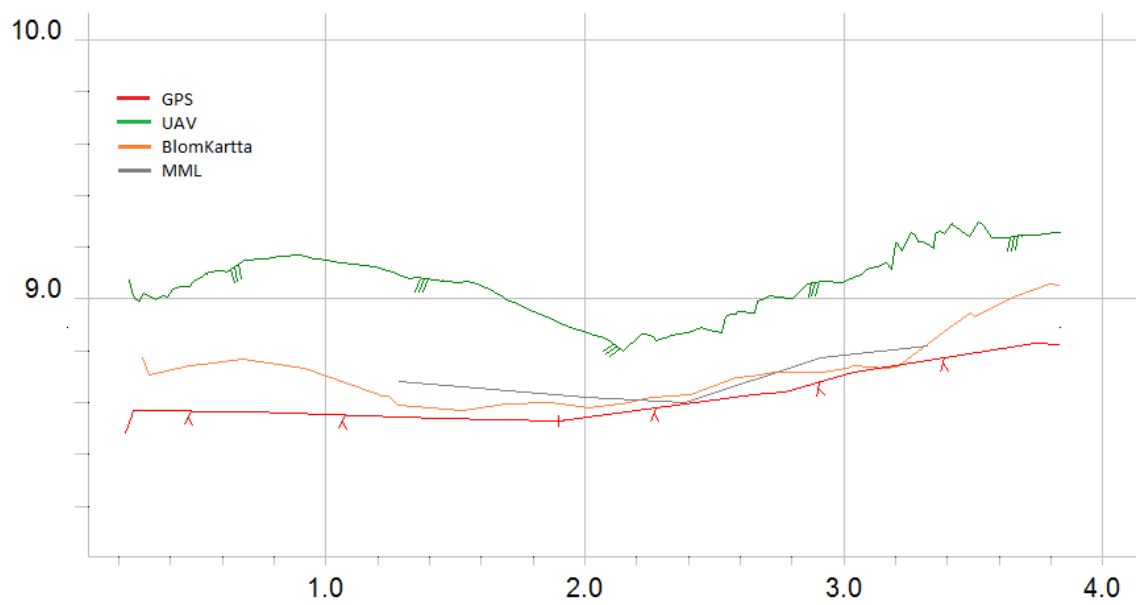
Isometsä.



Alueen isometsä poikkileikkaukset.



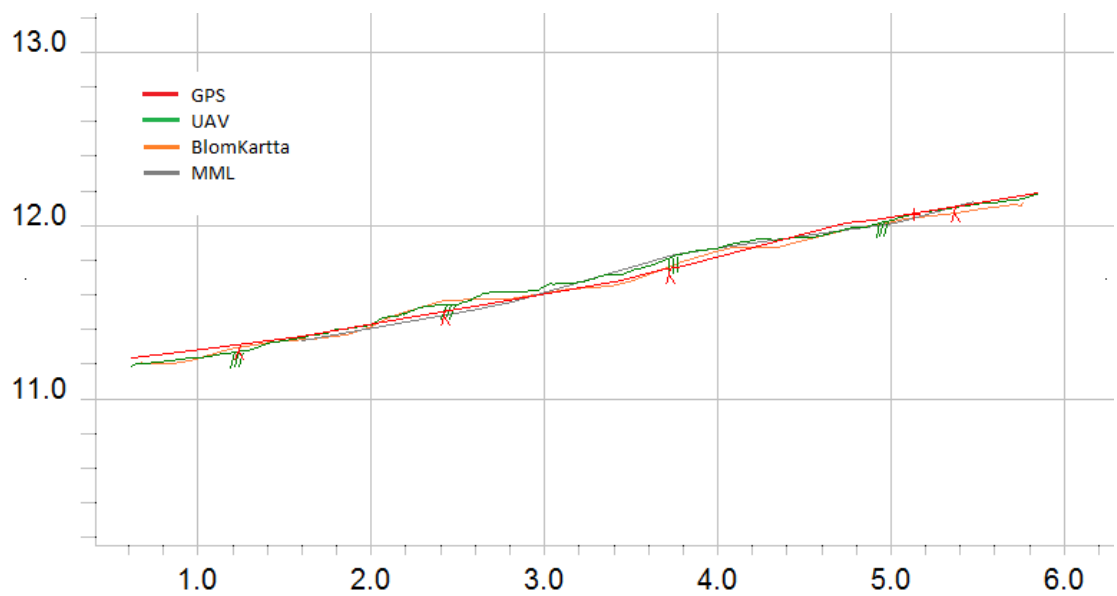
Pienimetsä.



Alueen pienimetsä poikkileikkaukset.



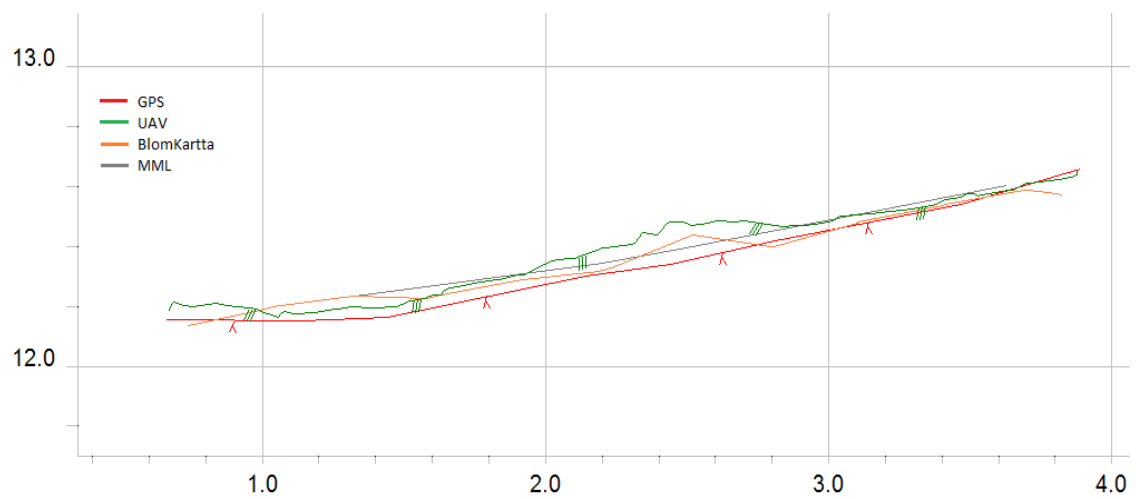
Soramonttu1.



Alueen soramonttu1 poikkileikkaukset.



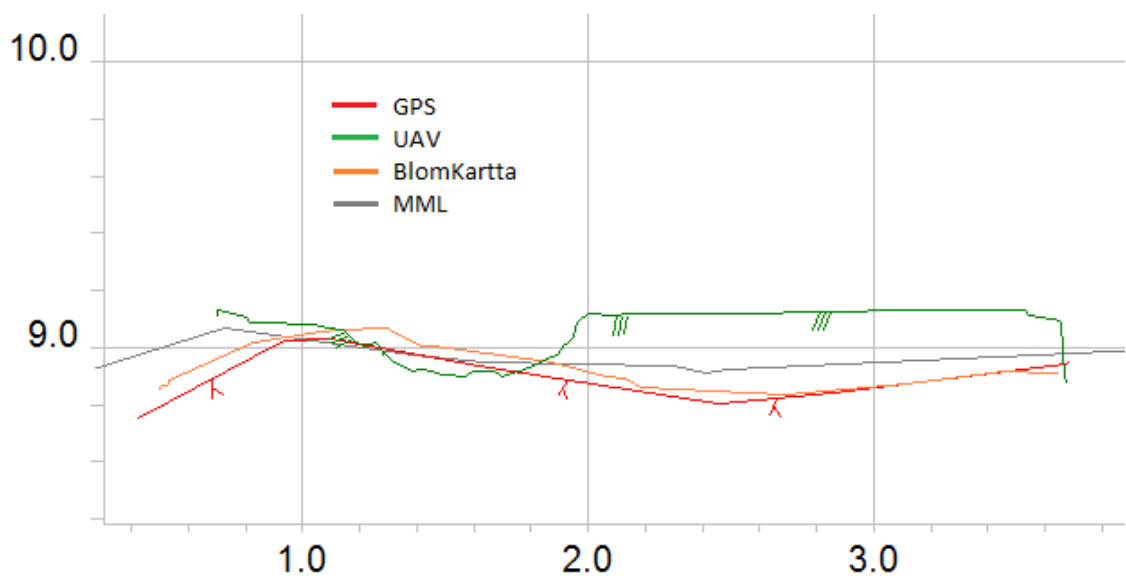
Soramonttu2.



Alueen soramonttu2 poikkileukkaukset.



Tiheikkö



Alueen tiheikkö poikkileikkaukset.