



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Simo Dromberg

# Miehittämättömien ilma-alusten käyttö Kuopion kaupungin täydennyskartoit- uksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriytyö

3.5.2021

|   |  |
|---|--|
| Tekijä<br>Otsikko<br>Sivumäärä<br>Aika  | Simo Dromberg<br>Miehittämättömien ilma-alusten käyttö Kuopion kaupungin täydennyskartoituksissa<br>39 sivua<br>3.5.2021 |
| Tutkinto  | insinööri (AMK)  |
| Tutkinto-ohjelma  | maanmittaustekniikka   |
| Ohjaajat  | lehtori Ilkka Partonen<br>paikkatietoasiantuntija Marko Ahola  |
| <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää, voisiko Kuopion kaupunki käyttää miehittämätöntä ilma-alusta kantakartan täydennyskartoitusten suorittamiseen perinteisten maastomittausten sijasta. Työn tarkoituksena oli verrata miehittämättömällä ilma-aluksella mitattua aineistoa perinteisillä mittauksilla mitattuun aineistoon ja tutkia sen mittaustarkkuuksia sekä täydellisyyttä. Lisäksi työssä pohdittiin ilmakehuvausprosessin kannattavuutta ajankäytölliset asiat huomioiden.</p> <p>Tutkimuskohteina työssä oli kaksi puistoaluetta Kuopion kaupungissa, Pohjolanpuisto sekä Hautalahdenpuisto, jotka molemmat kartoitettiin käyttäen takymetri- ja satelliittimittauksia sekä digitoimalla ilmakuvauksesta saadusta pistepilvestä. Mittauksista saatua dataa vertailtiin 3D-Win-ohjelmalla ja saatujen tulosten tutkimiseen sovellettiin JHS 185-suositusta. Vertailtavia kohteita työssä olivat huomattavat lehti- sekä havupuut, valaisinpylväät sekä alueilla sijaitsevat kulkuväylät.</p> <p>Tutkimuksen perusteella miehittämätön ilma-alus ei ole järkevin keino suorittaa kartoitusmittauksia ainakaan sen kaltaisissa kohteissa, joita tutkimuksessa esiintyi. Mittaustarkkuuksissa päästiin riittävän tarkkoihin tuloksiin, mutta ongelmia esiintyi aineiston täydellisyydessä, eli digitoituja kohteita oli joko liikaa tai liian vähän. Koska ilma-aluksilla suoritettavat kartoitukset osoittautuivat kuitenkin huomattavasti nopeammaksi tavaksi tehdä kartoituksia, olisikin mahdollista hyödyntää sitä helpommissa kohteissa. Myös molempien kartoituskeinojen käyttäminen esimerkiksi Pohjolanpuiston kaltaisissa kohteissa osoittautui selkeäksi ratkaisuksi, jota voisi olla järkevää kokeilla tulevaisuudessakin.</p> |  |
| Avainsanat  | RPAS, kartoitus, digitointi, kantakartta   |

|   |   |
|---|---|
| Author<br>Title<br>Number of Pages<br>Date  | Simo Dromberg<br>Use of Unmanned Aircraft in Supplementary Surveys city of Kuopio<br>39 pages<br>3 May 2021 |
| Degree  | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme  | Land Surveying  |
| Instructors   | Ilkka Partonen, Senior Lecturer<br>Marko Ahola, GIS Specialist  |
| <p>The purpose of this final year project was to establish whether an unmanned aircraft would be suitable to perform supplementary base map surveys instead of traditional terrain measurements. The aim was to compare the data measured with an unmanned aircraft with the data measured with traditional measurements.</p> <p>In the final year project, two parks were mapped using both mapping methods and the results were compared with 3D-Win programme and the results obtained were examined by applying the JHS 185 recommendations. Comparable objects were significant trees, lighting poles and passageways located in the areas.</p> <p>The thesis established that an unmanned aircraft is not the most sensible way to perform mapping measurements at sites such as the ones in the project. The measurement accuracies were good enough, but the problems manifested themselves in the number of objects. However, as aircraft surveys proved to be a much faster way to carry out surveys, it would be possible to exploit them at easier locations.</p> |   |
| Keywords  | RPAS, surveying, digitizing, base map   |

# Sisällys

## Lyhenteet

|       |                                   |    |
|-------|-----------------------------------|----|
| 1     | Johdanto                          | 1  |
| 2     | Miehittämätön ilmailu             | 2  |
| 2.1   | Yleistä                           | 2  |
| 2.2   | Luokittelu                        | 2  |
| 2.3   | Lainsäädäntö                      | 4  |
| 2.3.1 | Open                              | 5  |
| 2.3.2 | Specific                          | 5  |
| 2.3.3 | Sertified                         | 6  |
| 3     | Työn lähtökohdat                  | 7  |
| 3.1   | Lähtökohdat                       | 7  |
| 3.2   | Tutkimuskohteet                   | 7  |
| 4     | Tutkimuskohteiden mittaaminen     | 11 |
| 4.1   | Kartoitusmittaukset ja laitteisto | 11 |
| 4.2   | Maastomittausprosessi             | 13 |
| 4.2.1 | Orientointi ja mittaaminen        | 13 |
| 4.2.2 | Editointi                         | 15 |
| 4.3   | Ilmakuvausprosessi                | 16 |
| 4.3.1 | Lentotyö                          | 16 |
| 4.3.2 | Ilmakuvauksen prosessointi        | 17 |
| 4.3.3 | Digitointi TerraStereolla         | 18 |
| 5     | Mittaustulosten vertailu          | 21 |
| 5.1   | Mittaustarkkuudet                 | 21 |
| 5.1.1 | Pohjolanpuisto                    | 23 |
| 5.1.2 | Hautalahdenpuisto                 | 26 |
| 5.2   | Täydellisyys                      | 28 |
| 5.2.1 | Pohjolanpuisto                    | 29 |
| 5.2.2 | Hautalahdenpuisto                 | 32 |
| 5.3   | Syitä tuloksiin                   | 32 |

|   |                      |    |
|---|----------------------|----|
| 6 | Kannattavuusvertailu | 35 |
| 7 | Yhteenveto           | 37 |
|   | Lähteet              | 38 |

## Lyhenteet

|      |  |
|------|--|
| AQL  | Sallittujen virheiden, kuten puutteiden tai poikkeamien määrä sataa yksikköä kohden.   |
| GNSS | Lyhenne sanoista Global Navigation Satellite System. Maailmanlaajuinen satelliittijärjestelmä.   |
| JHS  | Julkisen hallinnon suositus.   |
| RPAS | Remotely Piloted Aircraft System. Etäohjatun miehittämättömän ilma-aluksen kokonaisjärjestelmä, joka koostuu ilma-aluksesta, hyötykuormasta, kauko-ohjaajasta sekä maa-asemasta. |
| UAS  | Unmanned Aerial System. Yleisnimitys miehittämättömästä ilma-alusjärjestelmästä.   |
| UAV  | Unmanned aerial vehicle. Vanhentunut termi miehittämättömästä ilma-aluksesta.  |

## 1 Johdanto

Miehittämättömien ilma-alusten suosio on noussut viimeisten vuosien aikana huomattavasti, samaan aikaan laitteiden teknologian kehityttyä. Ilma-alusten yleistyttyä niiden hintataso on pudonnut ja käyttö monipuolistunut, jonka seurauksena aluksia pystytään käyttämään nykyisin yhä enemmän esimerkiksi maanmittaustarkoituksiin, ja monet alan yritykset ovatkin pyrkineet hyödyntämään kalustoa omassa työssään.

Kuopion kaupunki hankki miehittämättömän lentoaluksen asemakaavan pohjakartan yläpilotarkoitukseen vuonna 2019. Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia tämän lentoaluksen soveltuvuutta täydennyskartoitusten mittaamiseen ja vertailla sillä suoritettuja kartoitusmittauksia perinteisiin takymetrillä ja GNSS-mittalaitteilla suoritettuihin kartoitusmittauksiin. Työ tehtiin Kuopion kaupungille, ja työn tavoitteena on selvittää, voisiko kaupunki hyödyntää tulevaisuudessa enemmän miehittämättömiä ilma-aluksia kartoitusmittauksissa.

Tässä insinööriyössä käydään läpi perinteisillä menetelmillä suoritettuja kartoitusmittauksia sekä miehittämättömällä ilma-aluksella suoritettuja kartoitusmittauksia kahden eri kohteen osalta ja vertaillaan mittauksista saatuja tuloksia. Työn tutkimuskohteina toimi kaksi puistoa Kuopion kaupungissa, jotka molemmat kartoitettiin käyttäen takymetriä ja GNSS-mittalaitetta sekä miehittämätöntä ilma-alusta. Mittauksista saatua dataa vertailtiin 3D-Win-ohjelmalla ja saatujen tuloksien tutkimisessa sovellettiin JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen -suositusta.

Vertailututkimuksen lisäksi insinööriyössäni esittelen yleisesti miehittämätöntä ilmailua, miehittämättömien ilma-alusten luokittelua sekä miehittämättömään ilmailuun liittyvää lainsäädäntöä.

## 2 Miehistämätön ilmailu

### 2.1 Yleistä

Miehistämättömät ilma-alukset ovat lentotyöhön tarkoitettuja laitteita, jotka on tarkoitettu lentämään ilman kyydissä olevaa ohjaajaa. Ilma-alukset ovat koostaan ja tekniikastaan riippuen soveltuvia eri käyttötarkoituksiin, kuten maanmittaustarkoituksiin, jossa niitä voidaan käyttää esimerkiksi kartoittamiseen. Miehistämättömät ilma-alukset ovat viime vuosina yleistyneet huomattavasti varsinkin maanmittausalalla, ja ilma-aluksilla tuotettua tietoa käytetään erilaisten rakennushankkeiden lähtötietoina ja suunnittelussa sekä hankkeiden seurannassa. [1; 2.]

Usein miehistämättömistä ilma-aluksista voi kuulla käytettävän useita erilaisia lyhenteitä, kuten UAV, UAS, RPAS tai droni. Näillä termeillä, varsinkin dronilla, tarkoitetaan usein samaa asiaa, eli miehistämätöntä ilma-alusta, jota ohjataan kauko-ohjaimella. Virallisesti miehistämättömistä ilma-aluksista käytetään termiä RPAS, joka on lyhenne sanoista Remotely Piloted Aircraft System. Termillä tarkoitetaan koko järjestelmää, johon kuuluu muun muassa itse ilma-alus, autopilotti, paikannusjärjestelmä, radio- ja videolinkki sekä manuaalinen kauko-ohjauslaite. [3]

Kaikki ilma-alukset, joilla suoritettu lentotyö on ammatillista toimintaa, määritellään RPAS-järjestelmiksi, kun taas harrastus- ja urheilutoiminnassa käytetyt ilma-alukset määritellään lennokeiksi. Alukset voivatkin olla keskenään samanlaisia, mutta määrittely riippuu laitteen käyttötarkoituksesta. [3]

### 2.2 Luokittelu

Miehistämättömät ilma-alukset voidaan jakaa kolmeen eri pääryhmään: kiinteäsiipisiin lentokoneisiin, helikoptereihin ja multikoptereihin sekä VTOL-tekniikkaan (Vertical Take Off and Landing) perustuvaan kiinteäsiipisiin lentokoneisiin. [4]





Kuva 1. Kiinteäsiipinen ilma-alus [16]

Kiinteäsiipisten lentokoneiden (kuva 1) etuja ovat esimerkiksi suuret lentonopeudet sekä pitkät lentoratojen pituudet, jotka mahdollistavat suurempien alueiden kuvaamisen. Kiinteäsiipiset laitteet eivät ole yhtä riippuvaisia hyvistä sääolosuhteista, kuin esimerkiksi multikopterit, ja ne pystyvät lentämään suhteellisen vakaasti kovemmassakin tuulessa kovemman vauhtinsa ansiosta. Kiinteäsiipiset laitteet vaativat kuitenkin aina avoimen kentän lentoonlähtöön sekä laskeutumiseen, ja usein lentoonlähtöön voidaan vaatia myös katapulttilaitteisto, jolloin koko järjestelmän liikuttelu on hankalaa ja työlästä. [4]



Kuva 2. Tutkimuksessa käytetty DJI Phantom 4 RTK -multikopteri [13]

Multikopterit (kuva 2) ovat huomattavasti kätevämpiä kuin kiinteäsiipiset laitteet. Multikopterit eivät vaadi paljoa tilaa lentoonlähdessä sekä laskeutumisessa, ja tämän vuoksi niitä voidaan käyttää hyvin ahtaissakin olosuhteissa, kuten tiheästi rakennetuissa kaupungeissa tai metsissä. Multikopterit ovat lentonopeudeltaan hitaampia ja myös alttiimpia sääolosuhteille, kuten koville tuulille, jotka voivat vaikeuttaa kuvaamista tai jopa estää sen kokonaan. Multikopterit kuluttavat myös enemmän energiaa verrattuna kiinteäsiipisiin laitteisiin, ja huonot sääolosuhteet lisäävät energiankulutusta entisestään. [4]

VTOL-tekniikkaan perustuvat kiinteäsiipiset lentokoneet ovat kiinteäsiipisiä lentolaitteita, joissa on myös samanlaisia ominaisuuksia kuin multikoptereissa. Laitteet pystyvät nousemaan sekä laskeutumaan pystysuoraan, jolloin ne eivät tarvitse yhtä paljon tilaa, kuin perinteiset kiinteäsiipiset alukset. [4]

### 2.3 Lainsäädäntö

31.12.2020 astui voimaan koko Euroopan unionin kattava uusi droonilennättämisen laki, jonka tarkoituksena on yhtenäistää drooneja koskevat säädökset ja helpottaa droonitoimijoiden operointia EU:n alueella. [5]

Uusien asetusten myötä jako miehittämättömien ilma-alusten sekä lennokkien väliltä poistuu, ja kaikkiin ilma-aluksiin sovelletaan samaa sääntelyä, mikä tarkoittaa, että kaikkien dronien käyttäjien tulee rekisteröityä dronitoimijarekisteriin, kun aiemmin ilmoitusvelvollisuus on koskenut ainoastaan ammattilaisia. Rekisteröityminen ei ole kuitenkaan tarpeen, jos lennätettävä droni painaa alle 250 grammaa, eikä siinä ole kameraa ja se on määritelty leluksi. Dronien käyttäjien täytyy tulevaisuudessa myös pääsääntöisesti suorittaa joko perinteinen koe tai verkkotentti riippuen lennätysten luonteesta. [5]

Uudistuksen lähtökohtana on, että perusasiat turvalliseen lennättämiseen säilyvät, vaikka joitain muutoksia uudistus tuokin. Suurin uudistus uudessa laissa on dronitoiminnan jakaminen kolmeen eri luokkaan, jotka ovat avoin (*open*), johon kuuluu suurin osa drooniharrastajista, erityinen (*specific*) sekä sertifioitu (*certified*), joissa pätevät tiukemmat vaatimukset. Jokaiselle luokalla on erilaiset vaatimukset ja luokka riippuukin ilma-aluksen ominaisuuksista sekä siitä, minkälaista toimintaa ilma-aluksella harjoitetaan. [5]

### 2.3.1 Open

Avoimeen kategoriaan luokitellaan sellainen toiminta, joka on vähäriskistä. Maksimi lennätyskorkeus avoimessa kategoriassa on 120 metriä, kun aiemmin se on ollut 150 metriä. Lennätys ei saa tapahtua ihmisjoukon yläpuolella, vaan sen tulee tapahtua turvallisen välimatkan päässä ihmisistä. Lennätettävään alukseen on myös oltava jatkuvasti suora näköyhteys. Suurin lentoonlähtömassa avoimen kategorian toiminnassa on 25 kilogrammaa, eikä lennätettävällä ilma-aluksella ei saa kuljettaa vaarallisia aineita, tai pudottaa mitään materiaalia. [6; 7.]

### 2.3.2 Specific

Jos toiminta ylittää jonkun avoimen kategorian rajan, siirtyy toiminta kategoriaan *erityinen*. Erityisessä kategoriassa toiminta sisältää enemmän riskejä kuin avoimessa kategoriassa, ja erityisen kategorian kriteereissä poiketaan avoimen kategorian kriteereistä. Erityisessä kategoriassa ilma-alusta voidaan lennättää ilman näköyhteyttä yli 120 metrin korkeudessa. Aluksen paino voi olla yli 25 kilogrammaa, ja esineiden pudottaminen on sallittua. Myös lentotyö, joka tapahtuu lentokenttien läheisyydessä tai rajoitusalueilla,

luokitellaan erityiseen kategoriaan. Jos toiminta kuuluu kategoriaan *erityinen*, se edellyttää joko Liikenne- ja viestintäviraston myöntämää toimintalupaa tai viranomaiselle tehtävää ilmoitusta toiminnasta. [6; 7.]

### 2.3.3 Certified

Kategorian *sertifioitu* toimintaan liittyy näiden kolmen kategorian suurimmat riskit. Toiminta tapahtuu sertifioitu kategoriassa, jos ilma-aluksella kuljetetaan ihmisiä tai vaarallisia aineita ja lentäminen tapahtuu väkijoukon päällä yli kolmen metrin kokoluokan aluksella. Toiminta kuuluu kategoriaan sertifioitu myös silloin, jos Liikenne- ja viestintäviraston riskiarvioinnin perusteella toiminnan sisältämä riski edellyttää sertifiointia. [6; 7.]

### 3 Työn lähtökohdat

#### 3.1 Lähtökohdat

Kuopion kaupunki kerää kunnallisteknisiä suunnittelukohteita varten mittaustietoa maastosta normaalisti takymetrillä sekä GNSS-mittalaitteella, koska suunnittelua varten pelkkä kantakartan sisältövaatimus ei välttämättä riitä vaan kohteiden sijaintia tulee tarkentaa lisämittauksilla maastossa. Tyypillinen kohde täydennyskartoituksessa voi olla esimerkiksi liikenneväylän suunnittelu. Kuopion kaupungin mittaryhmä kerää tietoa kohteista, joita voivat olla esimerkiksi tienreunakorkeudet, rakennesijainnit sekä kasvillisuus alueella. Maastomittaus työskentelyprosessi kokonaisuudessaan vaatii kuitenkin suhteellisen paljon henkilöstöresurssia, joten olisikin tarpeellista tutkia, voisiko prosessia tehostaa miehittämättömällä ilma-aluksella ja saada samaan aikaan yhtä hyviä mittaustuloksia kuin perinteisillä maastomittauksilla. [8]

#### 3.2 Tutkimuskohteet

Kohteiksi tutkimukseen valikoitui kaksi puistoaluetta, jotka olivat Pohjolanpuisto Kuopion Männistön kaupunginosassa, joka sijaitsee noin kilometrin keskustasta koilliseen, sekä Hautalahdenpuisto Kuopion Pirtin kaupunginosassa, joka sijaitsee noin seitsemän kilometriä keskustasta etelään (kuva 3).



Kuva 3. Pohjolanpuisto sekä Hautalahdenpuisto merkittynä kartalle punaisella. [9]

Tutkittaviksi kohteiksi valittiin tarkoituksella kaksi melko erityyppistä puistoaluetta, jotta saataisiin mahdollisimman hyvää vertailua siitä, kuinka miehittämättömällä ilma-aluksella kartoittaminen onnistuu eri olosuhteissa.



Kuva 4. Ilmakuva Pohjolanpuistosta. [9]

Tutkittavista kohteista Hautalahdenpuiston (kuva 5) tiedettiin jo etukäteen olevan huomattavasti hankalampi kohde ilmakuvausten kannalta, koska kasvillisuus alueella on erittäin tiheästi kasvavaa lehtipuustoa, kun taas Pohjolanpuiston (kuva 4) kasvillisuus koostuu pääosin havupuista ja se on huomattavasti harvempaa.



Kuva 5. Ilmakuva Hautalahdenpuistosta. [9]

Kohteiden haasteellisuuksiin vaikuttavat myös ilmakuvauksajankohdat, jotka eroavat toisistaan. Pohjolanpuiston ilmakuvauksa suoritettiin tammikuussa, kun taas Hautalahdenpuiston kuvauksa suoritettiin heinäkuussa.



## 4 Tutkimuskohteiden mittaaminen

### 4.1 Kartoitusmittaukset ja laitteisto

Yleisen määritelmän mukaan kartat ovat pienennettyjä ja yleistettyjä tasokuvia alueesta, jossa eri kohteet on selitetty merkein ja lisätiedoin. Kartoissa kuvataan valittujen kohteiden tasosijaintia ja suuret kartoitukset tehdään yleensä kaukokartoituksen keinoin. Aina kaukokartoituksella saadut kartat eivät ole riittävän tarkkoja ja niitä joudutaan täydentämään ja tarkastamaan maastossa takymetri- sekä satelliittimittauksilla. [10]

Kartoitukset muodostuvat maastossa mitatuista viivamaisista sekä pistemäisistä kohteista, ja ne ovat työkaluja, joita voidaan hyödyntää erilaisten rakennushankkeiden suunnittelussa. Niiden tarkoituksena on kuvata maastoa tehtävän vaatimalla tarkkuudella. [10]



Kuva 6. Leica TS16 takymetri. [11]

Kuopion kaupungilla työskentelee neljä maastomittajaa. Mittauskalustona maastotyöntekijöillä on käytössä Leica TS16 -takymetri (kuva 6) sekä Leica GS18 -satelliittimittauslaite (kuva 7).



Kuva 7. Leica GS18 -satelliittipaikannin sekä Leica CS20 -maastotalennin. [12]

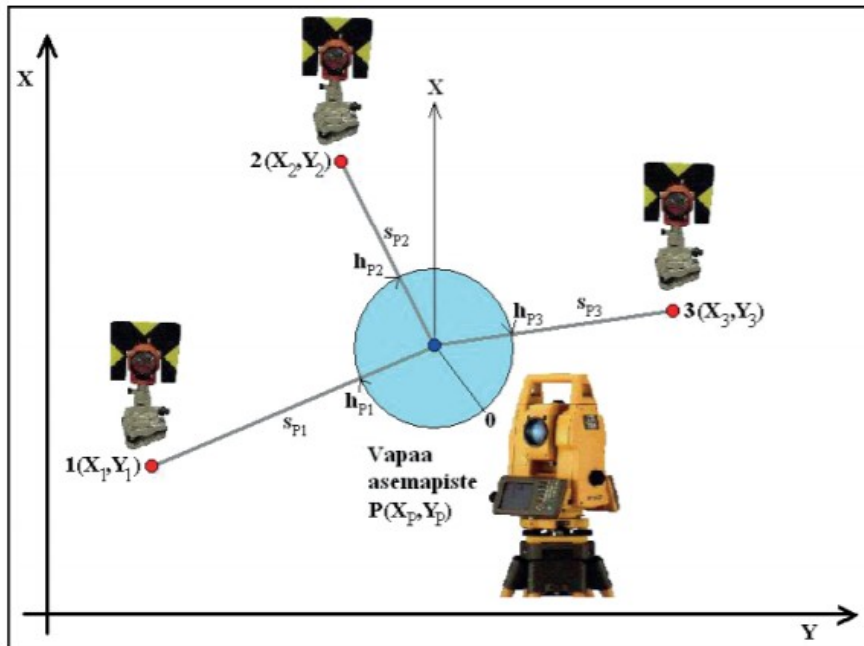
Maastomittauksista Kuopion kaupungilla vastaa maaomaisuuden hallintapalveluiden kiinteistönmuodostuspalveluiden palveluyksikkö. Yksikkö vastaa muun muassa kaupungin rakennusvalvontamittauksista sekä kantakartan täydennyskartoituksista, joita tässä työssä tutkitaan.

## 4.2 Maastomittausprosessi

### 4.2.1 Orientointi ja mittaaminen

Ennen kartoitusmittausten aloittamista mittauksissa käytettävä takymetri täytyy orientoida joko vapaalle asemapisteele tai tunnetulle asemapisteele. Orientoinnilla tarkoitetaan mittalaitteen asettamista tiettyyn koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään. Orientoinnin jälkeen takymetrillä voidaan mitata eri kohteita niin, että niille saadaan oikeat koordinaatit sekä korkeudet. Kartoitusmittauksissa käytetään usein vapaan asemapisteen menetelmää, koska silloin takymetri pystytään asettamaan mittausten kannalta sopivaan sijaintiin. [10]

Kartoitusmittaukset aloitetaan luomalla uusi tiedosto maastotallentimelle, johon kaikki mitatut tiedot tallentuvat. Tämän jälkeen takymetri asetetaan sijainniltaan tuntemattomaan paikkaan, minkä jälkeen mitataan vähintään kahteen koordinaateiltaan tunnettuun apupisteeseen, jotka on voitu mitata esimerkiksi GNSS-mittauslaitteella. Tämän jälkeen koje laskee vapaan asemapisteen koordinaatit sekä pohjoissuunnan kulma- ja etäisyys-havaintojen avulla.



Kuva 8. Vapaan asemapisteen koordinaatit voidaan määrittellä mittaamalla vähintään kahteen tunnettuun pisteeseen [10]

Kun koje on orientoitu, voidaan aloittaa kartoittaminen, joka tapahtuu mittaamalla prismaan, jolla osoitetaan kartoitettava kohde, tai mittaamalla suoraan kohteeseen käyttämällä takymetrin laseria. Kohde rekisteröidään painamalla *mittaa*-näppäintä maastotalentimesta, jolloin mitattu kohde rekisteröityy luotuun tiedostoon, joka voidaan myöhemmin siirtää tietokoneelle editoimista varten.

Tässä insinööriyössä tutkittavien kohteiden mitattavia asioita olivat teiden reunat, huomattavat havu- ja lehtipuut sekä valaisinpylväät. Mittausten kannalta on tärkeää, että eri kohteet mitataan eri koodeilla, jotta kohteet olisi helppo erottaa toisistaan valmiilla kartalla.

Mitatessa pistemäisiä kohteita, kuten puuta ja valopylväitä, tulisi kohteet mitata niiden keskikohdasta. Tämä on kuitenkin mahdotonta, koska prismaa ei pystytä asettamaan esimerkiksi puun sisään. Tällöin kohteet mitataan epäkeskisesti, mikä tarkoittaa, että prisma asetetaan kohteen viereen ja siihen mitataan pelkkä matka, minkä jälkeen kojeen tähtäin käännetään mitattavan kohteen keskelle ja rekisteröidään mitattava kohde. [10]

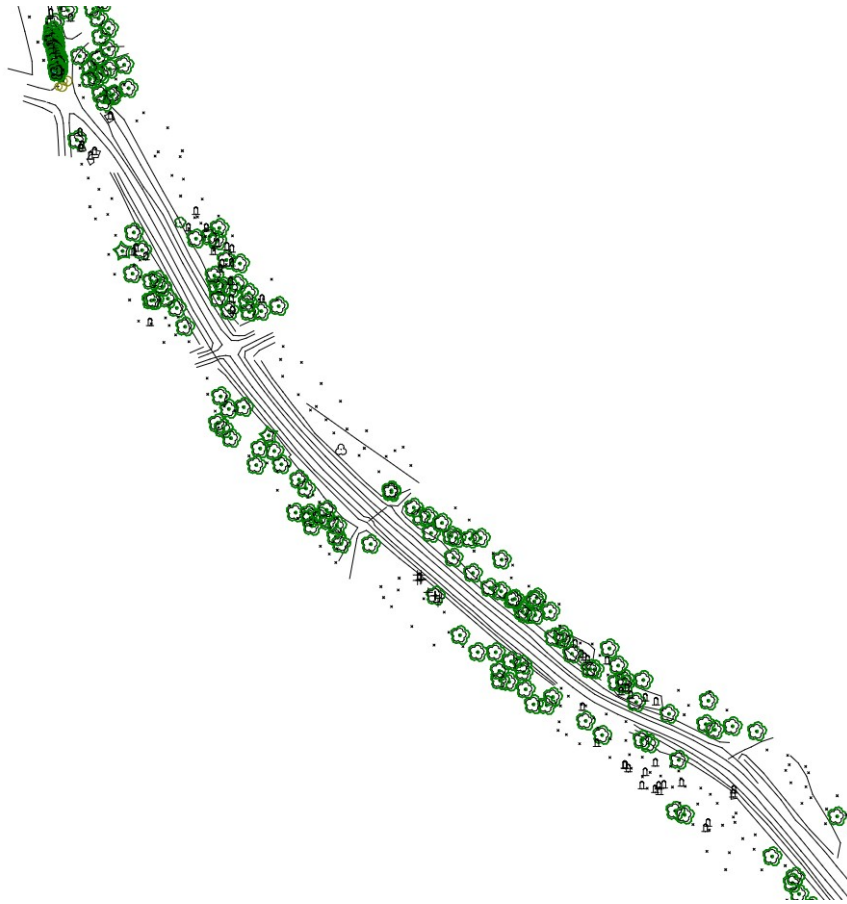
#### 4.2.2 Editointi

Kun kartoitusmittaus maastossa on suoritettu, mittaustiedostoa yleensä editoidaan, jotta siitä saadaan sopiva kaupungin kantaan viemistä varten. Mittaustiedosto saadaan maas-  
totallentimesta GT-formaatissa ja se siirretään muistitikun kautta tietokoneelle. Tiedon-  
siirron jälkeen tiedosto avataan 3D-Win-ohjelmalla, joka lukee GT-formaatissa olevia tie-  
dostoja.



Kuva 9. Editoitu mittaustiedosto Pohjolanpuiston maastomittauksista.

3D-Winissä tiedostoa siistitään, eli siitä poistetaan mahdolliset ylimääräiset mittaukset, muutetaan virheellisiä ominaisuuksia sekä yhdistetään katkonaisia taiteviivoja tai vastaavasti katkaistaan virheellisiä taiteviivoja, jos ne leikkaavat toisiaan.



Kuva 10. Editoitu mittaustiedosto Hautalahdenpuiston maastomittauksista.

Kun tiedosto on editoitu sopivaksi, se tallennetaan ja saadaan xy-tiedosto (kuvat 9 ja 10), jota voidaan käyttää kaupungin kantakartan päivittämiseen ja ylläpitämiseen.

### 4.3 Ilmakuvausprosessi

#### 4.3.1 Lentotyö

Ennen lentoa lähtöä lennätettävä alue signaloidaan, eli alueelle asetetaan tasaisin välimatkoin tukipisteitä, jolle mitataan koordinaatit GNSS-mittauslaitteella. Koordinaattien avulla ilmakuvaus lopputuloksena saatu ortokuva voidaan yhdistää muihin karttoihin.

Ilmakuvausprosessi aloitetaan lentosuunnitelman luomisella, joka voidaan tehdä suoraan ilma-aluksen ohjaimen (kuva 11) liitetyllä tabletilla. Lentosuunnitelmassa määritellään lennettävä alue, lentokorkeus ja -nopeus, kameran kulma sekä pituus- ja sivupeitto.



Kuva 11. Ohjain, jolla ilma-alusta käsitellään [13]

Kun lentosuunnitelma on luotu, voidaan aloittaa lennättäminen. Kopteri lentää automaattisesti lentosuunnitelmassa määritellyn alueen ja ottaa alueesta ilmakuvat. Tässä työssä käytettävänä kopterina toimi DJI Phantom 4 RTK (kuva 2).

#### 4.3.2 Ilmakuvauksen prosessointi

Kun ilmakuvaukset on suoritettu, suoritettiin ilmakuvauksesta saatujen ilmakuvien prosessointi Pix4Dmapper-ohjelmalla. Prosessointi aloitetaan luomalla uusi projekti, johon tuodaan ilmakuvauksessa saadut kuvat. Tämän jälkeen kuville lisätään haluttu koordinaattija korkeusjärjestelmä sekä kameramalli- ja parametrit, joita ilmakuvauksessa on käytetty. Kuville annetaan vielä orientointitiedot, joita ovat koordinaatti- sekä korkeustiedot, minkä jälkeen valitaan, mitä lopputuloksia prosessoinnista halutaan. Kun kaikki asetukset on asetettu, aloitetaan ensimmäinen prosessointi, jonka tuloksena Pix4Dmapper luo harvan pistepilven.

Seuraavaksi kuville voidaan tuoda tukipisteiden, eli signalointipisteiden koordinaatit. Koordinaatit tuodaan ohjelmaan tekstitiedostona, minkä jälkeen jokainen tukipiste käy-

dään klikkaamassa kuvista, joissa ne näkyvät. Koordinaattien syöttäminen on lähes aina asia, jota käyttäjän täytyy manuaalisesti tehdä ja lopun prosessoinnin Pix4Dmapper hoitaa automaattisesti.

#### 4.3.3 Digitointi TerraStereolla

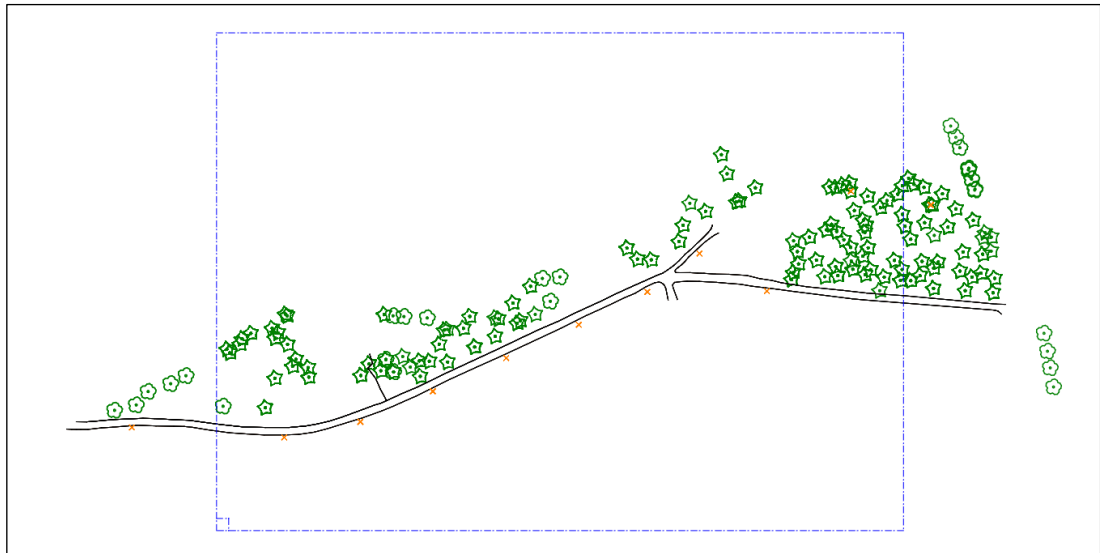
Prosessoinnista saadun pistepilven digitointiin käytettiin TerraStereo-ohjelmaa, joka on tarkoitettu suurten pistepilvien visualisoimiseen. TerraStereolla on mahdollista liikkua pistepilven sisällä ja digitoida kohteita pistepilvestä. Kuvassa 12 on esimerkki TerraStereolla digitoidusta kohteesta.



Kuva 12. Digitoituja lehtipuita TerraStereossa.

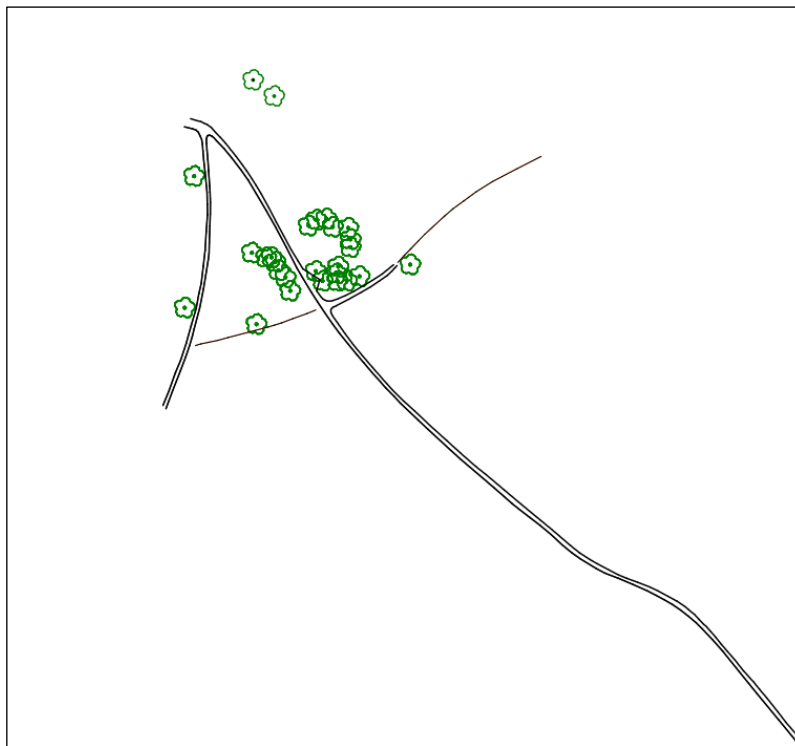
Koska TerraStereota ei ole varsinaisesti suunniteltu kohteiden digitointiin, vaatii sillä työskentely hieman soveltamista. Itse digitointi ohjelmassa on yksinkertaista, ja se tapahtuu menemällä kohteen lähelle ja klikkaamalla kohdetta mahdollisimman tarkasti, jolloin kohteen päälle tulee vihreä risti. Huono puoli TerraStereolla digitoidessa on, ettei kohteita pysty erittelemään ohjelman sisällä, vaan jokainen kohderyhmä täytyy digitoida erikseen, minkä jälkeen digitoidut kohteet tallennetaan omaan tiedostonaan.





Kuva 13. Stereomallilta digitoitu kartoitus Pohjolanpuistosta.

Kun halutut kohteet on digitoitu TerraStereolla, avataan tallennetut tiedostot 3D-Win-ohjelmalla. 3D-Winissä tallennettujen pisteiden ominaisuudet muutetaan oikeiksi, jotta kohteet saadaan eroteltua toisistaan ja saataisiin muodostettua kartta (kuvat 13 ja 14).



Kuva 14. Stereomallilta digitoitu kartoitus Hautalahdenpuistosta.

Ilmakuvausprosessissa kartoituskohteita ei ole tallennettu yhtä monipuolisesti kuin maastomittauksilla kartoittaessa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että ilmakuvausprosessissa on digitoitu ainoastaan lehti- ja havupuut, valaisinpylväät sekä kulkuväylät, kun taas maastomittauksissa on otettu huomioon myös rakennukset ja muut rakenteet. Tämä johtuu siitä, että suurimpia mittaustarkkuuksia vaativia kohteita, kuten rajamerkkejä sekä rakennuksia, ei digitoinnissa huomioitu, koska julkisen hallinnon suosituksessa JHS 185 ne suositellaan mitattavan runkopisteisiin tukeutuen joko takymetrillä tai satelliittimittauksella.

## 5 Mittaustulosten vertailu

Vertailtaessa tutkimuksessa saatua mittausdataa tuloksia peilataan JHS 185 asemakaavan pohjakartan laatiminen -suositukseen, jota Kuopion kaupunki soveltaa kartoitusmittauksissaan. Suosituksessa esitetään vaatimukset niin kunnille, kuin alan yrityksille pohjakarttojen tarkkuusvaatimuksista sekä kuvaustekniikasta ja annetaan ohjeet pohjakartan tarkistamiselle. [14]

Erilaiset kartoitusalueet voidaan jakaa kolmeen mittausluokkaan, jotka määrittävät mittaustarkkuudet. Tämän insinööriyön kohteissa on käytössä mittausluokka 1, jota sovelletaan alueilla, joilla on voimassa sitovan tonttijaon asemakaava. [14]

Tutkimuksessa mittaustuloksista analysoidaan mittaustarkkuuksia sekä aineiston täydellisyyttä, eli kuinka paljon kohteita on saatu digitoitua ja kuinka paljon digitoidussa aineistossa on puutteita.

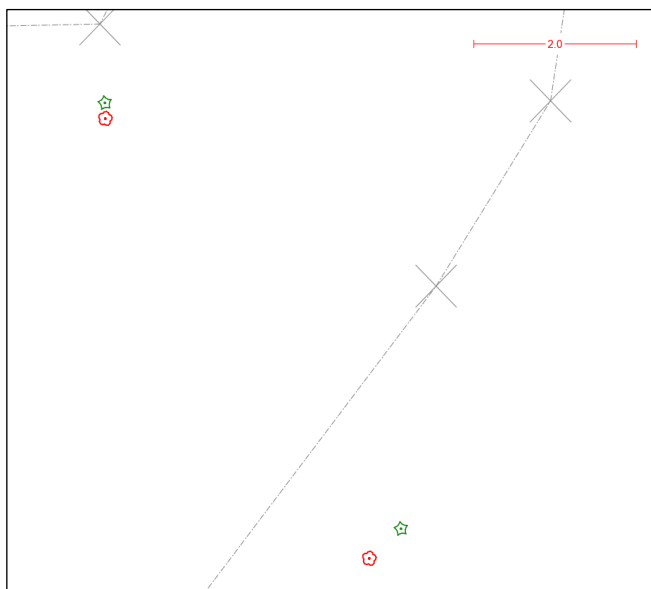
### 5.1 Mittaustarkkuudet

Tarkastellessa kartan mittaustarkkuuksia, selvitetään digitoitujen kohteiden sijaintitarkkuutta käytössä olevassa koordinaattijärjestelmässä. Kohteiden sijaintitarkkuudet esitetään pistekeskivirheenä taulukossa (taulukko 1), joka löytyy JHS 185-suosituksen liitteestä 4. Vertaillessa aineistoja yli 2,5 kertaa pistekeskivirheen ylittäviä kohteita saa esiintyä satunnaisotoksessa korkeintaan 5 %. [14]

Taulukko 1. JHS 185 liite 4, taulukko 3.4 Kasvillisuus [14]

| Kohdeluokka                          | Mittausluokka 1  |                         |                                 | Mittausluokka 2  |                         |                                 | Mittausluokka 3  |                         |                                 | Tyyppi       |
|--------------------------------------|------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------|
|                                      | Piste-keskivirhe | Täydellisyys (AQL-luku) | Temaattinen tarkkuus (AQL-luku) | Piste-keskivirhe | Täydellisyys (AQL-luku) | Temaattinen tarkkuus (AQL-luku) | Piste-keskivirhe | Täydellisyys (AQL-luku) | Temaattinen tarkkuus (AQL-luku) |              |
| Havupuurivi                          | 1.5 m            | 5                       | 5                               | 2.0 m            | 5                       | 5                               | 4.0 m            | 10                      | 10                              |              |
| Lehtipuurivi                         | 1.5 m            | 5                       | 5                               | 2.0 m            | 5                       | 5                               | 4.0 m            | 10                      | 10                              |              |
| Pensasaita                           | 1.5 m            | 5                       | 5                               | 2.0 m            | 5                       | 5                               | 4.0 m            | 10                      | 10                              |              |
| Havupuu<br>OMINAISUUDET<br>- Tyyppi  | 1.5 m            | 5                       |                                 | 2.0 m            | 5                       |                                 | 4.0 m            | 10                      |                                 | - huomattava |
| Lehtipuu<br>OMINAISUUDET<br>- Tyyppi | 1.5 m            | 5                       |                                 | 2.0 m            | 5                       |                                 | 4.0 m            | 10                      |                                 | - huomattava |
| Pensas<br>OMINAISUUDET<br>- Tyyppi   | 1.5 m            | 5                       |                                 | 2.5 m            | 5                       |                                 | 4.0 m            | 10                      |                                 | - huomattava |

Vertailtaessa mittaustarckkuuksia kartalta pyrittiin valitsemaan kohteet, joita pystytään selkeästi vertailemaan toisiinsa. Kartalla oli jonkun verran kohteita, kuten puita, joille ei selkeästi pystytty määrittelemään vertailtavaa kohdetta, sekä kohteita, joiden ominaisuus erosi vieressä olevasta kohteesta. Tällaisissa tilanteissa näitä kohteita ei huomioitu vertailututkimuksessa, minkä vuoksi vertailtavien kohteiden määrä on joissain vertailuissa pienempi, kuin kartoitettujen ja/tai digitoitujen kohteiden määrä.



Kuva 15. Kohteita Pohjolanpuistossa, joita ei huomioitu vertailussa

Kuvassa 15 on esimerkki tilanteesta, jossa kartalla olevia kohteita ei lasketa mukaan vertailuun. Vihreät symbolit kuvaavat maastossa kartoitettuja havupuita ja punaiset symbolit digitoituja lehtipuita.

### 5.1.1 Pohjolanpuisto

Lehtipuita Pohjolanpuistossa oli mitattu maastossa 17 kappaletta ja digitoitu 28 kappaletta. Näistä 11 kappaletta oli sellaisia, joita pystyttiin selkeästi vertaamaan toisiinsa. Lehtipuulle pistekeskivirheeksi on annettu 1,5 metriä, ja yli 2,5 kertaa pistekeskivirheen, eli 3,75 metriä ylittäviä virheitä saa satunnaisotoksessa esiintyä korkeintaan 5 %. Tämä tarkoittaa, että yksikin virheellinen kohde riittäisi hylkäämiseen.

Vertailtavien lehtipuiden osalta liian suuria virheitä ei löytynyt, eli lehtipuut voitaisiin hyväksyä tarkkuuksien osalta. Lehtipuiden erojen keskiarvo oli 0,25 metriä ja mediaani 0,197 metriä.

Havupuita Pohjolanpuistossa oli mitattu 125 kappaletta ja digitoitu 128 kappaletta. Näistä 103 kohdetta oli sellaisia, joita pystyttiin selkeästi vertailemaan toisiinsa. Havupuille pistekeskivirheeksi on annettu 1,5 metriä, ja yli 2,5 kertaa pistekeskivirheen eli 3,75 metriä ylittäviä virheitä saa satunnaisotoksessa esiintyä korkeintaan 5 %. Havupuiden kohdalla

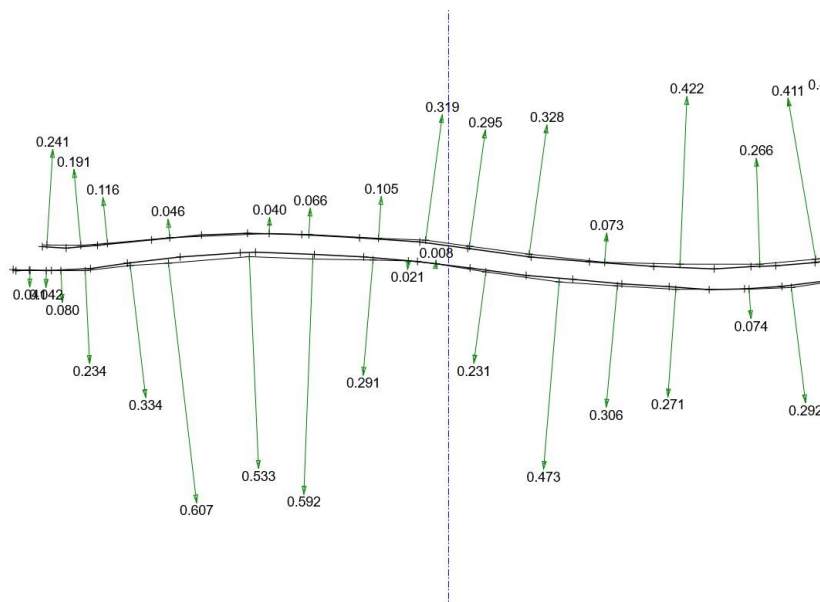
tämä tarkoittaisi, että kohteita, joiden ero on 3,75 metriä tai enemmän, saisi olla maksimissaan viisi kappaletta.

Vertailtavien havupuiden osalta liian suuria virheitä ei kuitenkaan löytynyt, eli havupuut voitaisiin hyväksyä tarkkuuksien osalta. Havupuiden erojen keskiarvo oli 0,35 metriä ja mediaani 0,259 metriä.

Valaisinpylväiden pistekeskivirheeksi on annettu 0,5 metriä. Yli 2,5 kertaa pistekeskivirheen ylittäviä virheitä, joka tässä tilanteessa olisi 1,25 metriä, saa satunnaisotoksessa esiintyä korkeintaan 5 %. Vertailtavia valaisinpylväitä oli 11 kappaletta, mikä tarkoittaisi, että jos yksikin vertailtavista pylväistä poikkeaisi 1,25 metriä, olisi se yli 5 % kokonaisuudesta, jolloin valopylväät hylättäisiin.

Myöskään vertailtavien valaisinpylväiden osalta liian suuria virheitä ei löytynyt, eli tarkkuuksien puolesta valaisinpylväät voitaisiin hyväksyä. Pylväiden erojen keskiarvo oli 0,25 metriä ja mediaani 0,205 metriä.

Teiden sijaintitarkkuuksia vertailtiin käyttämällä 3D-Win-ohjelman tarkemittauslaskentaominaisuutta. Ominaisuudella pystytään valitsemaan digitoidut tienreunat, joita ohjelma automaattisesti vertailee valittuun viivaan, joka tässä tilanteessa oli maastossa kartoitettu tienreuna. Kuvassa 16 on esimerkki tarkemittauslaskentaominaisuudella tehdystä vertailusta.



Kuva 16. Tien xy-sijainnin vertailua 3D-Win-ohjelmassa

Pohjolanpuistossa tietä vertailtiin 120 kohdasta, joista saatiin tasosijainnin sekä korkeuden ero digitoidun ja mitatun tien väliltä. Kevyen liikenteen väylälle on annettu keskipistevirheeksi 0,5 metriä, eli 120 vertailtavasta kohdasta kuudessa kohdassa ero saisi olla enemmän kuin 1,25 metriä, niin tasosijainnin kuin korkeuden osalta.

Digitoidun ja mitatun tien xy-sijainnit erosivat kahdessa kohdassa yli 1,25 metriä, ja z-sijaintien erot olivat kaikki alle 1,25 metriä. Tämä tarkoittaa, että sijaintitarkkuuksien kannalta tiet voitaisiin hyväksyä.

Tasosijaintien ero suurimmillaan Pohjolanpuiston tiessä oli 1,67 metriä ja pienimmillään 0,005 metriä. Keskimääräinen ero oli 0,295 metriä ja mediaani 0,264 metriä. Korkeussijaintien ero suurimmillaan oli 1,185 metriä ja pienimmillään 0,0 metriä. Keskimääräinen ero korkeuksissa oli 0,085 metriä ja mediaani 0,049 metriä (taulukko 2).

Taulukko 2. Pohjolanpuiston tuloksia

| Pohjolanpuisto         |                               |                            |                           |                           |                          |
|------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                        | Vertailtavien lukumäärä (kpl) | XY-virheiden keskiarvo (m) | XY-virheiden mediaani (m) | Z-virheiden keskiarvo (m) | Z-virheiden mediaani (m) |
| <b>Lehtipuut</b>       | 11                            | 0,25                       | 0,197                     |                           |                          |
| <b>Havupuut</b>        | 103                           | 0,35                       | 0,259                     |                           |                          |
| <b>Valaisinpylväät</b> | 11                            | 0,25                       | 0,205                     |                           |                          |
| <b>Kulkuväylät</b>     | 120                           | 0,295                      | 0,265                     | 0,085                     | 0,049                    |

### 5.1.2 Hautalahdenpuisto

Lehtipuita Hautalahdenpuistossa oli mitattu maastossa 373 kappaletta, mutta digitoitu ainoastaan 27 kappaletta. Näistä 16 oli sellaisia, joita pystyttiin selkeästi vertaamaan toisiinsa. Lehtipuulle pistekeskivirheeksi on annettu 1,5 metriä ja yli 2,5 kertaa pistekeskivirheen eli 3,75 metriä ylittäviä virheitä saa satunnaisotoksessa esiintyä korkeintaan 5 %, eli yksikin virheellinen kohde riittäisi hylkäämiseen.

Vertailtavien lehtipuiden osalta liian suuria virheitä ei löytynyt, eli vaikka digitoitu aineisto oli hyvin vajaa, voitaisiin vertailtavat kohteet hyväksyä tarkkuuksien osalta. Lehtipuiden erojen keskiarvo oli 0,283 metriä ja mediaani 0,267 metriä.

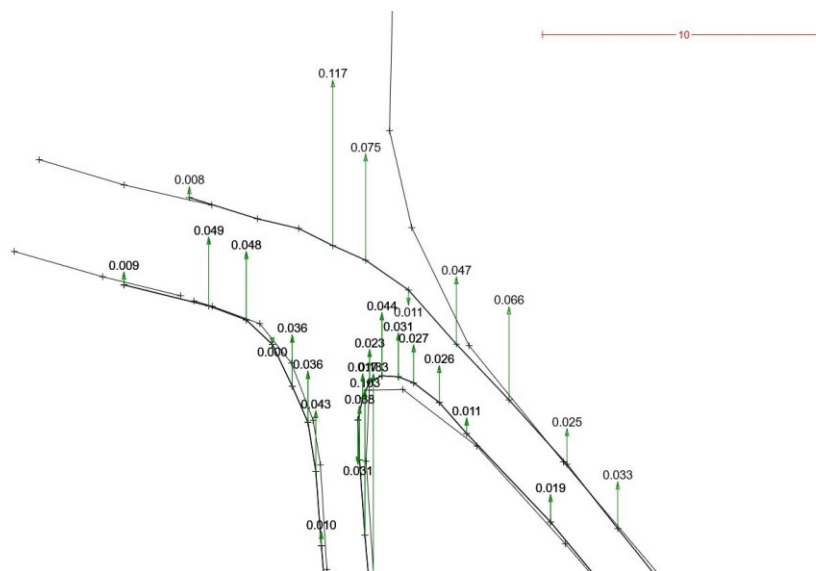
Havupuita Hautalahdenpuistossa oli kartoitettu 12 kappaletta, mutta digitoitua ei saatu yhtäkään, joten mittaustarkkuuksia havupuiden osalta ei pystytty suorittamaan.

Valaisinpylväitä Hautalahdenpuistossa oli kartoitettu maastossa kuusi kappaletta, mutta digitoitu ainoastaan yksi kappale, joten se oli ainut kohde, jota pystyttiin vertailemaan. Valaisinpylväille on annettu pistekeskivirheeksi 0,5 metriä ja yli 2,5 kertaa pistekeskivirheen ylittäviä virheitä, joka tässä tilanteessa olisi 1,25 metriä, saa satunnaisotoksessa esiintyä korkeintaan 5 %, mutta tässä tilanteessa pystyttiin suoraan katsomaan, ylittääkö vertailtava pylväs sallitun rajan.

Tässä tilanteessa ainoan tarkasteltavan kohteen ero oli 0,131 metriä, eli tarkkuuden perusteella se voidaan hyväksyä.



Hautalahdenpuistossa teiden sijaintitarkkuuksia vertailtiin myös käyttämällä 3D-Win-ohjelman tarkemittauslaskentaominaisuutta. Tietä vertailtiin 278 kohdasta, joista saatiin sekä tasosijainnin että korkeuden ero digitoidun ja mitatun tien väliltä. Kevyen liikenteen väylälle on annettu keskipistevirheeksi 0,5 metriä, eli 278 vertailtavasta kohdasta 13 kohdassa ero saisi olla enemmän kuin 1,25 metriä niin tasosijainnissa kuin korkeudessa.



Kuva 17. Korkeusvertailua Hautalahdenpuistosta

Digitoidun ja mitatun tien xy-sijainnit erosivat kolmessa kohdassa yli 1,25 metriä, ja z-sijaintien erot olivat kaikki alle 1,25 metriä. Tämä tarkoittaa, että sijaintitarkkuuksien kannalta tiet voitaisiin hyväksyä.

Tasosijaintien suurin ero oli 2,861 metriä ja pienin 0,001 metriä. Keskimääräinen ero oli 0,204 metriä ja mediaani 0,147 metriä. Korkeussijaintien suurin ero oli 0,904 metriä ja pienin 0,0 metriä. Keskimääräinen ero korkeuksissa oli 0,058 metriä ja mediaani 0,029 metriä (taulukko 3).

Taulukko 3. Hautalahdenpuiston tuloksia

| Hautalahdenpuisto      |                               |                            |                           |                           |                          |
|------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                        | Vertailtavien lukumäärä (kpl) | XY-virheiden keskiarvo (m) | XY-virheiden mediaani (m) | Z-virheiden keskiarvo (m) | Z-virheiden mediaani (m) |
| <b>Lehtipuut</b>       | 16                            | 0,283                      | 0,267                     |                           |                          |
| <b>Havupuut</b>        | 0                             |                            |                           |                           |                          |
| <b>Valaisinpylväät</b> | 1                             | 0,131                      | 0,131                     |                           |                          |
| <b>Kulkuväylät</b>     | 278                           | 0,204                      | 0,147                     | 0,058                     | 0,029                    |

## 5.2 Täydellisyys

Laatutekijällä *täydellisyys* tarkoitetaan kartalla esitettyjen kohteiden lukumäärää verrattuna kohteiden todelliseen lukumäärään maastossa. Tässä tilanteessa maastossa mitattujen kohteiden lukumäärää pidetään todellisena ja digitoitujen kohteiden lukumääriä vertaillaan niihin. [14]

Taulukko 4. JHS 185, liite 5. Tarkastuksessa käytettävä näytekototaulukko. [14]

| Kohteiden määrä |       | AQL =          | 0.5         | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
|-----------------|-------|----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| min             | max   | Näyteko<br>(n) | Hylkäysraja |     |     |     |     |     |
| 1               | 8     | kaikki         | 1           | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 9               | 50    | 8              | 1           | 1   | 1   | 2   | 2   | 2   |
| 51              | 90    | 13             | 1           | 1   | 2   | 2   | 2   | 3   |
| 91              | 150   | 20             | 1           | 2   | 2   | 3   | 3   | 4   |
| 151             | 280   | 32             | 1           | 2   | 3   | 3   | 4   | 4   |
| 281             | 400   | 50             | 2           | 3   | 3   | 4   | 5   | 6   |
| 401             | 500   | 60             | 2           | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 501             | 1200  | 80             | 3           | 3   | 5   | 6   | 7   | 8   |
| 1201            | 3200  | 125            | 3           | 4   | 6   | 8   | 10  | 11  |
| 3201            | 10000 | 200            | 4           | 6   | 8   | 11  | 14  | 16  |
| 10001           | 32000 | 315            | 5           | 7   | 12  | 16  | 20  | 23  |

Tarkastellessa kartan täydellisyyttä voidaan käyttää näytetarkastusta ja soveltaa taulukon 4 mukaisia näytekojoja sekä hylkäysrajoja. [14]

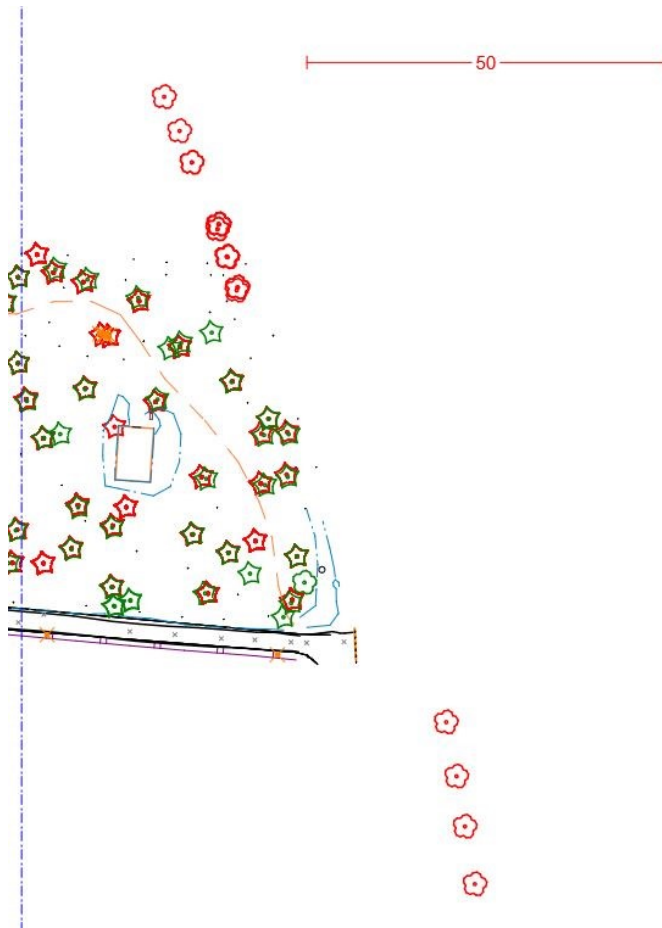
## 5.2.1 Pohjolanpuisto

Taulukko 5. Pohjolanpuiston kohteiden lukumäärät.

| <b>Kohteiden määrät Pohjolanpuistossa</b> |  |           |          |                 |
|---|--|-----------|----------|-----------------|
|   |  |           |          |                 |
|   |  | Lehtipuut | Havupuut | Valaisinpylväät |
| Maastossa mitatut                         |  | 17        | 125      | 19              |
| Digitoidut                                |  | 28        | 128      | 11              |

Taulukkoon 5 on listattu Pohjolanpuistossa sekä mitattujen että digitoitujen kohteiden lukumäärät. Lehtipuita Pohjolanpuistossa oli mitattu maastossa 17 kappaletta ja digitoitu 28 kappaletta. Kohteiden määrien perusteella määritellään näytekoko. Näytekoko saadaan suoraan JHS 185 liitteen 5 taulukosta, ja tässä tilanteessa se on kahdeksan. Jokaiselle kohteelle on myös annettu AQL-luku liitteen 4 taulukoissa, ja lehtipuiden AQL-luku on 5.

Kun tiedetään näytekoko sekä AQL-luku, voidaan niiden perusteella tarkistaa suoraan taulukosta 2 hylkäysraja, joka tässä tilanteessa on 2. Tämä tarkoittaa, että jos maastossa mitattujen ja digitoitujen kohteiden ero on 2 kappaletta tai enemmän, tulokset hylätään. Tässä tilanteessa mitattujen ja digitoitujen kohteiden ero on 11 kappaletta, joten tulos hylätään.



Kuva 18. Digitoituja lehtipuita Pohjolanpuiston itäreunalla

Ero mitattujen ja digitoitujen lehtipuiden lukumäärässä selittyy kuvan 18 tilanteesta, jossa lehtipuita on digitoitu puiston itäpuolella, mutta maastomittauksessa niitä ei ole huomioitu. Digitoituja puita on 12 kappaletta, mikä tarkoittaa, että jos niitä ei huomioitaisi vertailussa, aineisto voitaisiin hyväksyä.

Havupuita Pohjolanpuistossa (kuva 19) oli mitattu 125 kappaletta ja digitoitu 128 kappaletta, jolloin näytekokoo oli 20 kappaletta. AQL-luku huomattaville havupuille on 5, jolloin hylkäysrajaksi saadaan 4, eli jos mitattujen ja digitoitujen kohteiden ero on neljä tai enemmän, tulos hylätään.

Havupuiden osalta ero oli hyvin pieni, vain kolme kappaletta. Tämä tarkoittaa, että ero on alle hylkäysrajan, joten tulos voidaan hyväksyä.



Kuva 19. Havupuita Pohjolanpuistossa

Valaisinpylväitä mitattiin maastossa 19 kappaletta ja digitoitiin 11 kappaletta, jolloin näyttekooksi saatiin kahdeksan kappaletta. AQL-luvuksi valaisinpylväille on annettu kaksi, eli hylkäysraja tässä tilanteessa on yksi.

Mitattujen ja digitoitujen valaisinpylväiden ero Pohjolanpuistossa on kahdeksan kappaletta, eli tulos hylätään.

## 5.2.2 Hautalahdenpuisto

Taulukko 6. Hautalahdenpuiston kohteiden lukumäärät.

| <b>Kohteiden määrät Hautalahdenpuistossa</b> |           |          |                 |
|--|-----------|----------|-----------------|
|  | Lehtipuut | Havupuut | Valaisinpylväät |
| Maastossa mitatut                            | 373       | 12       | 6               |
| Digitoidut                                   | 27        | 0        | 1               |

Lehtipuita Hautalahdenpuistossa oli mitattu 373 kappaletta ja digitoitu 27 kappaletta, jolloin näytekoko oli 50 kappaletta. AQL-luku huomattaville lehtipuulle on 5, jolloin hylkäysrajaksi saadaan kuusi, eli jos mitattujen ja digitoitujen kohteiden ero on kuusi tai enemmän, tulos hylätään.

Ero mitattujen ja digitoitujen lehtipuiden osalta oli suuri: 346 kappaletta. Tämä tarkoittaa, että tulos hylätään.

Havupuita Hautalahdenpuistossa oli mitattu 12 kappaletta, mutta digitoitua ei oltu saatu yhtäkään. Taulukoiden mukaan näytekoko olisi kahdeksan kappaletta ja AQL-luku viisi, mutta digitoitujen kohteiden puutteesta voidaan ilman suurempaa tutkimista päätellä, että tulos hylätään.

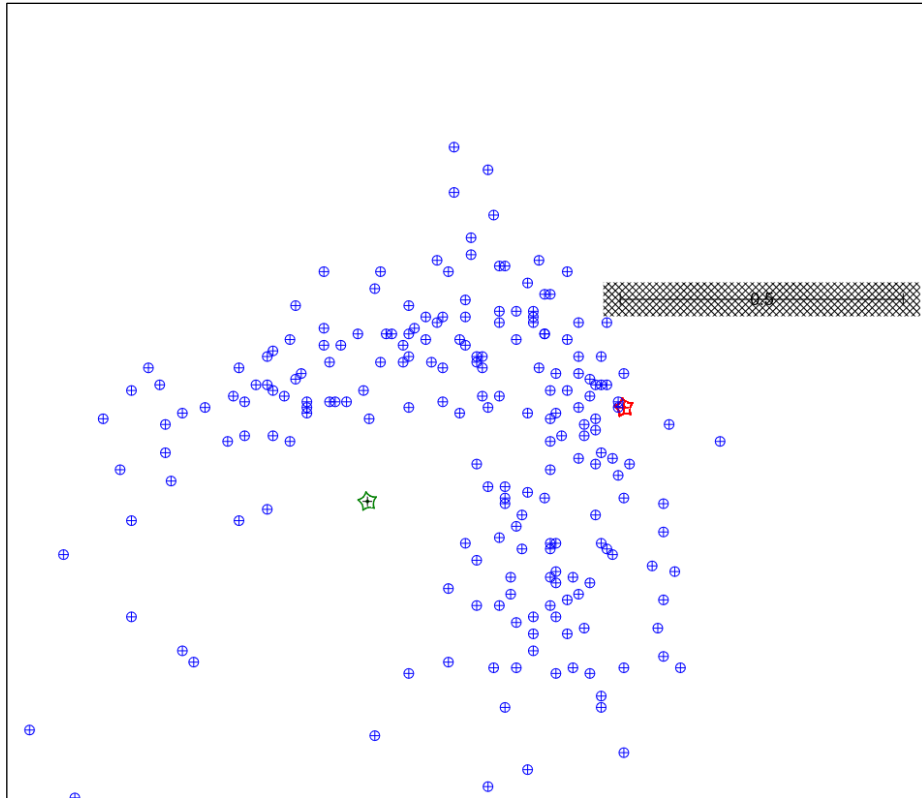
Valaisinpylväitä alueella mitattiin kuusi kappaletta ja digitoitiin yksi. Kohteita on niin vähän, että näytekoko on kaikki kohteet, eli tässä tilanteessa kuusi. AQL-luku valaisinpylväille on 2, jolloin hylkäysrajaksi saadaan yksi kappale.

Mitattujen ja digitoitujen valaisinpylväiden ero Hautalahdenpuistossa on viisi kappaletta, eli tulos hylätään.

## 5.3 Syitä tuloksiin

Kartoittaessa eri kohteita, esimerkiksi suuria puita, kohteista pyritään kartoittamaan aina niiden keskikohta. Takymetrillä kartoittaessa tämä onnistuu mittaamalla epäkeskisesti, mutta pistepilvestä digitoidessa tämä ei onnistu, koska pistepilvestä saadaan osoitettua

ainoastaan kohteen ulkoreuna. Tämän vuoksi digitoidut kohteet eroavat aina jonkun verran maastossa mitatuista kohteista. Kuvassa 20 on esimerkki Pohjolanpuistossa kartoitetusta havupuusta, jossa digitoitu kohde eroaa maastossa mitatusta kohteesta noin puoli metriä. Siniset pisteet kuvassa ovat ilmakuvauksesta saadun pistepilven pisteitä, johon TerraStereossa on tartuttu kartoittaessa puuta.



Kuva 20. Pohjolanpuistossa kartoitettu havupuu. Vihreä symboli on maastossa mitattu puu ja punainen on TerraStereolla digitoitu puu

Pistepilvestä kartoittamiseen ja siihen, kuinka tarkasti kohteita saadaan digitoitua, vaikuttaa pistepilven laatu. Kohteiden digitointi voi olla hyvin haastavaa, jopa mahdotonta, jos esimerkiksi alueen kasvillisuus on liian tiheää tai alueella on paljon muita esteitä, jotka vaikuttavat pistepilven laatuun.

Esimerkki tällaisesta kohteesta on Hautalahdenpuisto, joka mittauksista saatujen tuloksien perusteella osoittautui hyvin haastavaksi kohteeksi. Alueella on paljon lehtipuita, jotka olivat kuvaushetkellä täydessä lehdessä. Tämän vuoksi runkojen hahmottaminen ilmakuvauksessa saadusta pistepilvestä ei ollut mahdollista kuin todella harvassa kohdassa, kuten kuvasta 21 nähdään.



Kuva 21. TerraStereo-näkymä Hautalahdenpuistosta.

Myös sääolosuhteet sekä vuodenaika vaikuttavat ilmakekuvauksprosessin lopputuloksiin. Esimerkiksi Hautalahdenpuiston ilmakekuvauks suoritettiin heinäkuussa, jolloin puissa oli paljon lehtiä ja aurinko paistoi kirkkaalta taivaalta. Liiallinen auringonpaiste voi muodostaa varjoja, jotka hankaloittavat digitointia. Pohjolanpuiston ilmakekuvauks taas suoritettiin tammikuussa, joka sattui olemaan todella vähäluminen. Tällöin lehtipuissa ei ollut lehtiä, eikä aurinko paistanut yhtä kirkkaasti.

Kaikki virheet ja ongelmat tuloksissa eivät selity pelkästään ilmakekuvauksista johtuvista syistä, vaan myös maastossa mitatessa voi käydä virheitä. Kartoittaessa alueita, joissa kartoitettavia kohteita on tiheästi, voi mittaja vahingossa jättää kohteita kartoittamatta tai vastaavasti kartoittaa saman kohteen kaksi kertaa.



## 6 Kannattavuusvertailu

Arvioitaessa kannattavuutta droonimittausten ja maastomittausten välillä asiaa lähdettiin tutkimaan ajankäyttöön liittyvistä asioista, eli kuinka monta tuntia prosesseihin on käytetty. Vertailussa on otettu huomioon maastossa vietetty aika, datan prosessointiin sekä editointiin kulunut aika sekä aika, joka kuluu, kun tiedot siirretään kaupungin maastotietokantaan.

Ilmakuvaus ja digitointiprosessissa ei ole otettu huomioon koko aikaa, joka ilmakuvauksesta saatujen kuvien prosessointiin kuluu Pix4Dmapper-ohjelmalla. Prosessointi voi kestää yhteensä useitakin tunteja, mutta lukuun ottamatta alussa suoritettavia projektin luomisia ja parametrien asettamisia ohjelma hoitaa prosessoinnin automaattisesti, eikä työntekijän tarvitse käyttää työaikaa prosessin seuraamiseen.

Taulukko 7. Tuntityöarvot maastomittausprosessiin sekä ilmakuvausprosessiin käytetystä ajasta Pohjolanpuiston osalta [15]

| <b>Tuntityöarvio Pohjolanpuiston työn ajankäytöstä</b> |               |
|--|---------------|
|  |               |
| <b>Maastomittaustyö</b>                                | <b>Tuntia</b> |
| Mittaus maastossa + editointi                          | 38            |
| Ylläpito maastotietokantaan                            | 2             |
| <b>Yhteensä</b>  | <b>40</b>     |
|  |               |
|  |               |
| <b>Toimistodigitointi - TerraStereo</b>                | <b>Tuntia</b> |
| Droonikuvaus + prosessointi                            | 6             |
| Stereodigitointi-työ                                   | 8             |
| Ylläpito maastotietokantaan                            | 2             |
| <b>Yhteensä</b>  | <b>16</b>     |

Taulukkoon 7 on kirjattu arvio käytetyistä tunneista, joita kului Pohjolanpuiston kartoitukseen maastomittaus- sekä ilmakuvausprosessin osalta. Kuten taulukosta huomataan, ilmakuvausprosessi on kokonaisuudessaan tutkimuksessa esiintyneiden kokoluokan alueissa huomattavasti nopeampi prosessi.

Taulukko on ainoastaan Pohjolanpuiston kartoituksista, mutta kohteet ovat laajuudeltaan samaa kokoluokkaa, mikä tarkoittaa, että Hautalahdenpuiston ilmakuvausprosessiin on

käytetty suunnilleen yhtä paljon tunteja. Maastokartoituksen osalta Hautalahdenpuisto on hieman työläämpi kohde, jos verrataan kartoitettavien kohteiden lukumäärää, jolloin siihen on käytetty mahdollisesti hieman enemmän tunteja kuin Pohjolanpuistoon.

Varsinkin Hautalahdenpuisto kuitenkin osoittaa, että pelkästä nopeudesta ei ole välttämättä hyötyä, jos prosessista saadut tulokset ovat heikkoja ja aineisto jää vajaaksi.

## 7 Yhteenveto

Tutkimuksessa saatujen tuloksien perusteella kartoitusmittaukset eivät onnistu pelkääntään miehittämättömillä ilma-aluksilla ainakaan sen kaltaisissa kohteissa, joita tutkimuksessa tutkittiin. Mittaustarkkuuksia katsottaessa ilma-aluksilla tehdyt kartoitukset ovat suurimmaksi osaksi onnistuneita, mutta suurimmat ongelmat tulivat esiin tutkiessa aineiston täydellisyyttä. Varsinkin Hautalahdenpuiston aineisto jäi hyvin vajaaksi, johtuen alueen todella tiheästä kasvillisuudesta, eikä alueelta saatu digitoitua kuin todella pieni määrä halutuista kohteista. Myös ajankohta, jolloin Hautalahdenpuisto kuvattiin, vaikutti lopputulokseen. Olisikin mielenkiintoista nähdä, paranisiko lopputulos ollenkaan, jos ilmakehuvaus suoritettaisiin esimerkiksi keväällä tai syksyllä, jolloin puissa ei olisi vielä lehtiä.

Pohjolanpuiston osalta tulokset olivat huomattavasti parempia, kuin Hautalahdenpuiston osalta, vaikka eivät sielläkään täydellisiä. Kuten luvussa 5.3 mainittiin, kaikki virheet eivät aina välttämättä johdu ilmakehuvausprosessissa tapahtuvista virheistä, vaan myös maastomittaajille voi käydä virheitä. Tämän vuoksi Pohjolanpuiston tyyppisillä alueilla voisi olla oleellista miettiä, voisiko kartoituksissa käyttää molempia keinoja, jolloin hyvin suurella todennäköisyydellä mikään alueen kohteista ei jäisi kartoittamatta. Sen lisäksi, että alue saataisiin kartoitettua tarkasti, saataisiin alueelta muutakin dataa, kuten viistokuvia ja ortokuva.

Vaikka tuloksien perusteella miehittämättömällä ilma-aluksella kartoittaminen ei olisi-kaan järkevää ainoana kartoituskeinona kohteissa, jotka tähän työhön valittiin, ei tämä tarkoita sitä, etteikö se voisi olla järkevää jossain muussa kohteessa. Ilma-aluksilla kartoittaminen osoittautui huomattavasti nopeammaksi tavaksi kartoittaa, ja tarkkuudetkin olivat riittävät, joten laitteiden käyttöä voisi harkita helpommissa kohteissa.

Mahdollisia kohteita, jossa ilma-aluksia voitaisiin käyttää ainoana kartoituskeinona, voisivat olla saman kokoluokan alueet kuin tässä tutkimuksessa esiintyneet kohteet, joissa kasvillisuus olisi paljon harvemmassa. Tällaisia kohteita voisivat olla esimerkiksi leikki- puistot ja Kuopion keskusta-alueella sijaitsevat puistot, joissa kasvillisuus on harvempaa. Myös pidempien katualueiden kartoitukset voisivat olla potentiaalisia kohteita RPAS-laitteistolla kartoittamiseen.

## Lähteet

- 1 Lentotyö ja miehittämätön ilmailu. Verkkoaineisto. Droneinfo. <<https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyö/lentotyö-ja-miehittamaton-ilmailu>> Luettu 24.1.2021
- 2 Alaluusua, Teemu. 2020. Miehittämättömän ilma-aluksen käyttö rakennushankkeessa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 3 Selvitys RPAS menetelmistä. 2020. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <[https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2020/02/KMTK\\_kuntapro\\_Selvitys\\_RPAS\\_menetelmista\\_v2.pdf](https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2020/02/KMTK_kuntapro_Selvitys_RPAS_menetelmista_v2.pdf)> Luettu 29.1.2021.
- 4 Partonen, Ilkka. 2020. RPAS-operaatiot. Luentodiat. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 5 Uusi dronelaki voimaan vuodenvaihteessa - mikä muuttuu? Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/uusi-dronelaki-voimaan-vuodenvaihteessa-mika-muuttuu>> Luettu 10.2.2021.
- 6 Hohtari, Henri. 2019. EU dronelaki. Verkkoaineisto. <[https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Dronet\\_saadosinfo\\_Hohtari.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Dronet_saadosinfo_Hohtari.pdf)> Luettu 1.2.2021.
- 7 Lahdenperä, Sini. 2019. Hallituksen esitys EU:n EASA-asetusta täydentäväksi lainsäädännöksi. Verkkoaineisto. Traficom. <[https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Ilmailulain\\_uudistus\\_Lahdenper%C3%A4.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Ilmailulain_uudistus_Lahdenper%C3%A4.pdf)> Luettu 1.2.2021.
- 8 Ahola, Marko. 2020. Sähköpostiviesti 9.7.2020.Kuopion kaupunki.
- 9 Kuopion karttapalvelu. Kuopion kaupunki. Verkkopalvelu. <<https://kartta.kuopio.fi/>>
- 10 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu
- 11 Leica TS16 -takymetri – Tehokkaaseen mittaamiseen. Verkkoaineisto. Leica Geosystems. <<https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/total-stations/robotic-total-stations/leica-ts16>> Luettu 9.3.2021.
- 12 Leica GS18 T. Verkkoaineisto. Leveling Equipment Services. <<https://www.leisrl.ie/products/leica-gs18-t>> Luettu 9.3.2021.

- 13 DJI PHANTOM 4 RTK + RTK MAATUKIASEMA. Verkkoaineisto. Digitarvike.fi. <[https://www.digitarvike.fi/product/110767/dji-phantom-4-rtk--rtk-maatuki-asema?gclid=Cj0KCQiAj9iBBhCJARIsAE9qRtBvQ70PKez8LycX50aiW74Ta-VIEBJ7E3P\\_9JPZdavCx4HKqcS\\_CidYaAhJ8EALw\\_wcB](https://www.digitarvike.fi/product/110767/dji-phantom-4-rtk--rtk-maatuki-asema?gclid=Cj0KCQiAj9iBBhCJARIsAE9qRtBvQ70PKez8LycX50aiW74Ta-VIEBJ7E3P_9JPZdavCx4HKqcS_CidYaAhJ8EALw_wcB)> Luettu 26.2.2021.
- 14 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. JHS 185. 2014. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. 2.5.2014.
- 15 Ahola, Marko. 2021. Keskustelu opinnäytetyöstä. 4.2.2021.
- 16 Geotrimin 3D-valikoimiin uusi mobiilikartoitusjärjestelmä ja VTOL-tekniikan kiinteäsiipinen drone. Verkkoaineisto. Geotrim. <<https://geotrim.fi/yritys/uutisia/tima-uutisia/geotrimin-3d-valikoimiin-uusi-mobiilikartoitusjarjestelma-ja-vtol-tekniikan-kiinteasiipinen-drone/>> Luettu 18.3.2021.